



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE FRECUENCIA CARDÍACA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO FÍSICO EN EL PERSONAL DE LA LÍNEA DE FAENAMIENTO BOVINO DEL CAMAL MUNICIPAL DE RIOBAMBA”**

**SANDRA LORENA HURTADO GUAPULEMA**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de

### **MAGÍSTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**DICIEMBRE - 2018**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación** modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE FRECUENCIA CARDÍACA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO FÍSICO EN EL PERSONAL DE LA LÍNEA DE FAENAMIENTO BOVINO DEL CAMAL MUNICIPAL DE RIOBAMBA”, de responsabilidad de la Srta. Sandra Lorena Hurtado Guapulema ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

\_\_\_\_\_  
DRA. PATRICIA CHICO LÓPEZ MSC.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
ING. EDUARDO GARCÍA CABEZAS MSC.

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
DR. ROLANDO SÁNCHEZ ARTIGAS PHD.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
ING. PAUL VEGA CORTEZ MSC.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Riobamba, Diciembre 2018

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi gordita bella, mi mamita querida por su ejemplo de constante lucha.

**Sandra Lorena**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi pilar fundamental junto con mi familia.

A Ermel por su constante apoyo durante todo este tiempo, por su amor, cariño y paciencia inagotables.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme realizar mis estudios de posgrado.

A mi tutor, Eduardo García por su ayuda y paciencia en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. William Luzuriaga administrador del Camal Municipal del GADM Riobamba por autorizarme realizar mi trabajo de titulación en las instalaciones, y a todos los trabajadores de la línea de faenamiento de bovinos por su atenta colaboración.

**Sandra Lorena**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CERTIFICACIÓN:</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Situación Problemática</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Formulación del Problema</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Preguntas Directrices</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Justificación de la Investigación</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Objetivos de la Investigación</b> .....	<b>5</b>
1.5.1 <i>Objetivo General</i> .....	5
1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>7</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Antecedentes del Problema</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Bases Teóricas</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 <i>Frecuencia Cardíaca y Pulso</i> .....	9
2.2.2 <i>Carga de trabajo</i> .....	11
2.2.3 <i>Fatiga</i> .....	14
2.2.4 <i>Criterios de valoración de la carga física</i> .....	15
2.2.5 <i>Valoración de la carga física</i> .....	15
2.2.6 <i>Valores e índices derivados del estudio de la frecuencia cardíaca</i> .....	17

2.2.7	<i>Criterios de Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca.</i>	18
2.2.8	<i>Sensores.</i>	21
2.2.9	<i>Redes inalámbricas</i>	23
2.2.10	<i>Red de sensores inalámbricos (WSN)</i>	24
2.2.11	<i>Redes ZIGBEE.</i>	27
2.2.12	<i>Microcontroladores.</i>	33
2.2.13	<i>Tarjeta Arduino.</i>	34
2.2.14	<i>LabVIEW.</i>	36
<b>CAPÍTULO III.</b>		<b>39</b>
<b>3</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo y diseño de la investigación.</b>	<b>39</b>
3.1.1	<i>Análisis de requerimientos del sistema de medición de la FC.</i>	40
3.1.2	<i>Diagrama funcional del sistema de medición de la FC.</i>	42
3.1.3	<i>Descripción general del Sistema de medición de la FC.</i>	43
3.1.4	<i>Limitantes del sistema de medición.</i>	43
<b>3.2</b>	<b>Elección del Hardware y Software</b>	<b>44</b>
3.2.1	<i>Elección del sensor de pulso cardíaco.</i>	44
3.2.2	<i>Elección de la tarjeta de procesamiento.</i>	46
3.2.3	<i>Elección de módulos para la WSN.</i>	47
3.2.4	<i>Elección de la topología de la WSN.</i>	47
3.2.5	<i>Elección del software para la interfaz gráfica.</i>	51
3.2.6	<i>Suministro de energía.</i>	51
3.2.7	<i>Elección del criterio de valoración de la carga física.</i>	52
<b>3.3</b>	<b>Diseño electrónico del sistema de medición de la FC</b>	<b>52</b>
3.3.1	<i>Diagrama de bloques del sistema de medición de la FC.</i>	52
3.3.2	<i>Implementación del Hardware.</i>	53
3.3.3	<i>Diagramas de flujo del sistema de medición de la FC</i>	54
<b>3.4</b>	<b>Interfaz desarrollada en LabVIEW</b>	<b>58</b>
3.4.1	<i>Configuración de Arduino con LabVIEW.</i>	58
3.4.2	<i>Descripción y desarrollo del programa.</i>	59
<b>3.5</b>	<b>Población.</b>	<b>67</b>

<b>3.6</b>	<b>Muestra .....</b>	<b>68</b>
<b>3.7</b>	<b>Antecedentes de la empresa.....</b>	<b>68</b>
<b>3.8</b>	<b>Descripción de los puestos de trabajo de la línea de faenamiento bovino. 69</b>	
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>70</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados de implementación de los nodos .....</b>	<b>70</b>
<i>4.1.1</i>	<i>Pruebas a los nodos sensor.....</i>	<i>70</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Pruebas al nodo Coordinador .....</i>	<i>71</i>
<b>4.2</b>	<b>Resultado y análisis de la WSN.....</b>	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis fiabilidad del sistema de medición de la FC .....</b>	<b>74</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados y análisis de la aplicación .....</b>	<b>74</b>
<b>4.5</b>	<b>Verificación de la FCR de los trabajadores .....</b>	<b>77</b>
<b>4.6</b>	<b>Resultado de la valoración del esfuerzo físico. ....</b>	<b>77</b>
<b>4.7</b>	<b>Demostración de la hipótesis .....</b>	<b>79</b>
<b>4.8</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Valores de referencia de la FCR en función de edad y sexo .....	10
<b>Tabla 2-2:</b> Frecuencia cardíaca en reposo y en ejercicio .....	10
<b>Tabla 3-2:</b> Frecuencia cardíaca según el esfuerzo realizado .....	10
<b>Tabla 4-2:</b> Reacciones derivadas de la frecuencia cardíaca.....	16
<b>Tabla 5-2:</b> Coeficiente de Penosidad de Frimat.....	20
<b>Tabla 6-2:</b> Valoración del puesto de trabajo según Frimat.....	20
<b>Tabla 7-2:</b> Valoración mediante CCA según Chamoux .....	21
<b>Tabla 8-2:</b> Valoración mediante CCR según Chamoux .....	21
<b>Tabla 9-2:</b> Módulo XBee con diferentes antenas .....	33
<b>Tabla 1-3:</b> Requerimiento de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino .....	41
<b>Tabla 2-3:</b> Requerimiento del sistema de medición de la FC .....	41
<b>Tabla 3-3:</b> Requerimiento de diseño del sistema de medición de la FC.....	42
<b>Tabla 4-3:</b> Elección del sensor de pulso del sistema de medición de la FC .....	44
<b>Tabla 5-3:</b> Características de sensor de pulso Amped .....	46
<b>Tabla 6-3:</b> Características del módulo XBee S2C .....	47
<b>Tabla 7-3:</b> Asignación de dispositivos XBee S2C.....	47
<b>Tabla 8-3:</b> Resumen de configuración de parámetros para los módulos XBee S2C .....	48
<b>Tabla 9-3:</b> Valoración del esfuerzo físico .....	66
<b>Tabla 10-3:</b> Personal de la línea de faenamiento bovino .....	67
<b>Tabla 11-3:</b> Tareas generales por puesto de trabajo .....	69
<b>Tabla 1-4:</b> Parámetros utilizados en las pruebas.....	74
<b>Tabla 2-4:</b> Valores promedios de la FCR medida .....	77
<b>Tabla 3-4:</b> Tabla de valoración de la carga física y esfuerzo físico.....	78
<b>Tabla 4-4:</b> Tabla ascendente de valoración de esfuerzo físico .....	78



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Frecuencia Cardíaca.....	9
<b>Figura 2-2:</b> Trabajo muscular estático .....	12
<b>Figura 3-2:</b> Trabajado de pie y movimientos repetitivos.....	13
<b>Figura 4-2:</b> Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo a varios autores .....	19
<b>Figura 5-2:</b> Tipos de redes inalámbricas .....	24
<b>Figura 6-2:</b> Partes de un nodo sensor .....	25
<b>Figura 7-2:</b> Estructura interna de un sensor inalámbrico inteligente .....	25
<b>Figura 8-2:</b> Topologías de red WSN comunes .....	26
<b>Figura 9-2:</b> Red en Estrella.....	29
<b>Figura 10-2:</b> Topología en árbol.....	29
<b>Figura 11-2:</b> Topología Mesh.....	29
<b>Figura 12-2:</b> Capas de la pila de protocolos ZIGBEE .....	30
<b>Figura 13-2:</b> Características del firmware de los módulos XBee serie 2 .....	31
<b>Figura 14-2:</b> Entorno XCTU para Microsoft Windows .....	32
<b>Figura 15-2:</b> Partes que Integran un Microcontrolador. ....	34
<b>Figura 16-2:</b> Entorno Arduino para Microsoft Windows .....	36
<b>Figura 17-2:</b> Panel Frontal.....	37
<b>Figura 18-2:</b> Diagramas de Bloques .....	38
<b>Figura 1-3:</b> Modelo en V para el sistema de medición.....	39
<b>Figura 2-3:</b> Diagrama funcional del sistema de medición de la FC .....	42
<b>Figura 3-3:</b> Sensor de Pulso Amped .....	45
<b>Figura 4-3:</b> Señal de Salida Esperada del Sensor Amped.....	45
<b>Figura 5-3:</b> Circuito del Sensor de Pulso Amped .....	46
<b>Figura 6-3:</b> Tarjeta Arduino UNO R3 .....	46
<b>Figura 7-3:</b> Esquema general de la red .....	48
<b>Figura 8-3:</b> Estructura general de la trama en el modo de operación API .....	49
<b>Figura 9-3:</b> Módulo XBee y XBee Usb Adapter .....	50
<b>Figura 10-3:</b> Parámetros de configuración de los módulos XBee S2C .....	50
<b>Figura 11-3:</b> Red inalámbrica de sensores implementada.....	51
<b>Figura 12-3:</b> Batería Recargable Li-ion 18650.....	51

<b>Figura 13-3:</b> Diagrama de bloques del sistema de medición de la FC .....	52
<b>Figura 14-3:</b> Conexiones del nodo sensor .....	53
<b>Figura 15-3:</b> Conexiones del nodo coordinador .....	53
<b>Figura 16-3:</b> Diagrama de flujo de adquisición y envío de los BPM .....	55
<b>Figura 17-3:</b> Diagrama de flujo del programa interrup .....	56
<b>Figura 18-3:</b> Diagrama de flujo de la recepción de los BPM .....	57
<b>Figura 19-3:</b> Configuración del puerto serial con LabVIEW .....	58
<b>Figura 20-3:</b> Bloque VISA Read .....	58
<b>Figura 21-3:</b> Trama de datos recibida .....	59
<b>Figura 22-3:</b> Menú principal del sistema .....	59
<b>Figura 23-3:</b> Subprograma Crear Ficha .....	60
<b>Figura 24-3:</b> Ciclo Case para ingresar datos personales a la ficha .....	60
<b>Figura 25-3:</b> Subprograma de Registro de FCR .....	61
<b>Figura 26-3:</b> Ciclos Case para verificar datos de la trama recibida.....	61
<b>Figura 27-3:</b> Ciclo Case almacenamiento de datos para el cálculo de FCR o FCM .....	62
<b>Figura 28-3:</b> Registro de las pulsaciones por minuto .....	63
<b>Figura 29-3:</b> Subprograma para valorar el esfuerzo físico .....	64
<b>Figura 30-3:</b> Ciclo Case Calculo de la FCR .....	65
<b>Figura 31-3:</b> Subprograma para el cálculo de los índices cardíacos .....	65
<b>Figura 32-3:</b> Plantilla del informe.....	67
<b>Figura 33-3:</b> Ubicación del Camal Municipal de Riobamba.....	68
<b>Figura 1-4:</b> Mochila para el nodo sensor .....	70
<b>Figura 2-4:</b> Trama de datos enviada por el nodo sensor.....	71
<b>Figura 3-4:</b> Monitor Serie del nodo sensor .....	71
<b>Figura 4-4:</b> Red Inalámbrica de Sensores- .....	72
<b>Figura 5-4:</b> A) Nodo1, B) Nodo2, C) Nodo3, 4 y 5 con los dispositivos colocados.....	72
<b>Figura 6-4:</b> A) Nodo6, B) Nodo7 con los dispositivos colocados. ....	73
<b>Figura 7-4:</b> Recepción de datos del sistema de medición de la FC .....	73
<b>Figura 8-4:</b> Conexión de nodos sensores con coordinador .....	73
<b>Figura 9-4:</b> Medición de la FCR con el dispositivo. ....	74
<b>Figura 10-4:</b> Disposición de los nodos sensor .....	75
<b>Figura 11-4:</b> Subprograma para la valoración de un puesto de trabajo .....	75
<b>Figura 12-4:</b> Informe generado .....	76

<b>Figura 13-4:</b> Comprobación con Excel de los datos calculados .....	76
<b>Figura 14-4:</b> Análisis descriptivo de la variable dependiente para una $\alpha \leq 0.05$ .....	79
<b>Figura 15-4:</b> Diagrama de cajas de la prueba Kruskal-Wallis .....	79
<b>Figura 16-4:</b> Prueba post hoc, comparación por parejas de nodos .....	80

## RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de medición de la frecuencia cardíaca que determina el esfuerzo físico en los trabajadores de la línea de faenamiento bovino en el Camal Municipal de Riobamba. El sistema se fundamenta en una red inalámbrica de sensores Zigbee con topología estrella, donde a siete trabajadores se les instaló un nodo sensor formado por una placa Arduino para el tratamiento de señal, un sensor Amped SEN 11574 para la medición del ritmo cardíaco, un módulo XBee S2 para la comunicación y pilas recargables para la alimentación. El dispositivo permite la emisión inalámbrica de la información desde cada puesto de trabajo hacia un nodo coordinador que centraliza la información y mediante comunicación serial transfiere los datos a una computadora que contiene una interfaz gráfica implementada en Labview; encargada de registrar el ritmo cardíaco, determinar el nivel de exposición de carga física a través de los índices de penosidad y mediante la aplicación del criterio de Frimat para valorar el esfuerzo físico y finalmente la aplicación emite un informe con los valores calculados. Se pudo establecer que, los paquetes de datos fueron enviados por los nodos sensor y recibidos por el nodo coordinador correctamente, seguidamente fueron registrados por la aplicación que valoro de manera acertada el esfuerzo físico, con lo que se determinó que los puestos de trabajo que registraron mayor esfuerzo físico son: puesto de eviscerado y puesto de aturdimiento y anclaje, mientras que los puestos con menor esfuerzo físico son: puesto de desollado y sellado y división, con niveles de carga física que van desde soportable y penosa hasta ligera respectivamente. En conclusión, el sistema de medición de la frecuencia cardíaca es capaz de valorar el esfuerzo físico realizado durante un periodo corto de tiempo y dentro de un área menor a 60 metros.

**Palabras Claves:** <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TECNOLOGIA DE LAS COMUNICACIONES>, <RED INALÁMBRICA DE SENSORES>, ARDUINO (HARDWARE – SOFTWARE)>, <CRITERIO DE FRIMAT>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <ZIGBEE (TOPOLOGÍA)>.

## ABSTRACT

A cardiac frequency measurement system was designed and implemented to determine the physical effort in the workers of the bovine slaughter line the municipal channel of Riobamba. The system is based on a wireless network of Zigbee sensors with star topology, where seven workers are installed a sensor node formed by an Arduino board for signal treatment, a sensor Amped SEN 11574 for measuring heart rate, an XBee S2 module for communication and rechargeable batteries for power supply. The device allows the wireless transmission of information from each workstation to a coordinating node that centralizes information and through serial communication It transfers the data to a computer containing a graphical interface implemented in Labview: In charge of recording the heart rate, determine the level of physical load exposure through the indexes of Pain and by applying the criterion of Frimat to assess the physical effort and finally the application issues a report with the calculated values. It was possible to establish that the data packets were sent by the sensor nodes and received by the coordinator node correctly, then they were registered by the application that I valued the physical effort in a correct way, thus it was determined that the Jobs that recorded more physical effort are: eviscerated position and stun and anchorage position, while the positions with less physical effort are: post of flaying and sealing and division, with physical load levels ranging from bearable and Painful to light respectively. In conclusion the heart rate measurement system is able to assess the physical effort performed over a short period of time and within an area less than 60 meters.

**KEYWORDDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING>, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, <WIRELESS SENSOR NETWORK>, <ARDUINO (HARDWARE-SOFTWARE)>, <FRIMAT CRITERION>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <ZIGBEE (TOPOLOGY)>.

# **CAPÍTULO I**

## **1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Situación Problemática**

En Ecuador no se tiene información a ciencia cierta sobre el esfuerzo físico que llegan a experimentar las personas durante la jornada laboral, lo que hace necesario que se realicen investigaciones que sirvan para determinar la situación real de los trabajadores y de esta manera se pueda prevenir ciertas patologías y situaciones de molestia, o que permita determinar cuando los esfuerzos físicos alcanzan cotas importantes.

El esfuerzo físico es una parte fundamental en el desarrollo de toda actividad laboral, aunque en los trabajos pesados como en la construcción, minería, agricultura, pesca, etc. se ha considerado mayormente frente a las ocupaciones donde es menos evidente, como enfermería, secretariado, manipulación de pequeñas cargas, etc. incluso cuando una persona mantiene la misma postura ya sea de pie o sentada durante un día de trabajo es propensa a sufrir algún tipo de lesión corporal.

La mayor o menor cantidad de esfuerzo físico realizado es directamente proporcional al consumo de energía y de la misma manera habrá un efecto sobre el sistema cardiorrespiratorio. Desde esta perspectiva fisiológica, el consumo de energía y la capacidad cardíaca constituyen los límites para el desarrollo de cualquier tipo de trabajo, por lo que esas dos variables son utilizadas para evaluar el grado de severidad de una tarea física, por tal razón el incremento o decremento de la frecuencia cardíaca se relaciona directamente con la intensidad de la actividad laboral.

El incremento de las pulsaciones cardíacas se traduce como, una aceleración en el desgaste físico que induce a un envejecimiento prematuro que puede generar una enfermedad profesional con el pasar del tiempo. El análisis de la frecuencia cardíaca permite conocer con más detalle condiciones de trabajo tales como la carga física,

térmica y emocional; así como también las condiciones propias de cada individuo como el estado emocional, ritmo biológico, estado de salud, entre otros. Principalmente ayuda a determinar problemas de salud relacionados con el corazón que son comunes en el Ecuador y están relacionados con comportamientos poco saludables que practican los trabajadores a diario.

Investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud determinan que las afecciones cardiovasculares cobran más de 17 millones de muertes a nivel mundial cada año (Diario El Tiempo, 2017). Ecuador no es la excepción. “Según datos recogidos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC), en el año 2014 se reportaron un total de 4430 muertes por enfermedades isquémicas del corazón, mientras que por insuficiencia cardíaca, los fallecimientos llegaron a 1316. Las arritmias cardíacas sumaron un total de 168 muertes, mientras que los fallecidos por paros cardíacos en ese mismo año fueron 106. Del total de muertes por enfermedades del corazón que suman casi 12000, el 51,68% de las víctimas son hombres, mientras que los 48,32% restantes son mujeres, según destacan las cifras recogidas por el INEC.

En marzo de 2016, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), llevó a cabo un estudio en Ecuador sobre las poblaciones en riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. La encuesta recogió datos de 2 231 personas entre 18 y 69 años. Los resultados fueron arrasadores: Un total del 30% de la población adulta entre 40 y 69 años corren riesgo de padecer alguna enfermedad asociada con el mal funcionamiento del sistema cardíaco”. (Diario El Comercio, 2016).

En el medio industrial calcular la carga física del trabajo requiere del uso de dispositivos que de alguna manera impiden el desarrollo normal de las actividades diarias del trabajador, y también de la presencia de una persona calificada que efectué la evaluación. Por lo que es necesario el desarrollo de sistemas de medición modernos basados en las nuevas tecnologías que permitan determinar dicha carga física, mediante la aplicación de métodos prácticos basados en indicadores fisiológicos como es el caso de la frecuencia cardíaca que es un índice fácil de registrar.

Con el fin de encontrar una solución a los problemas mencionados en las industrias y particularmente al Camal Municipal de Riobamba se presenta la siguiente investigación que tiene como objetivo diseñar un sistema de medición de la frecuencia cardíaca que ayuda a la valoración cualitativa de la carga física, además el sistema detecta las variaciones elevadas de la frecuencia cardíaca, para proteger y promover la salud y el bienestar de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino de dicho Camal.

El sistema está formado por siete sensores análogos no invasivos colocados en el lóbulo de la oreja con sus respectivas mochilas que contienen un Arduino para el tratamiento de la señal, un módulo de comunicación inalámbrico y la fuente de alimentación, estos elementos se convierten en los nodos sensor de una Wireless Sensor Network (WSN) para la transmisión de datos. La información recibida es centralizada en una aplicación informática que permite el monitoreo continuo en tiempo real y el registro de la frecuencia cardíaca de los trabajadores, una vez terminada la jornada laboral se valorara el esfuerzo físico en base al cálculo de criterios cardíacos y del criterio de Frimat, para finalmente generar un reporte con el resultado obtenido.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Diseñar un sistema de medición de frecuencia cardíaca para determinar del esfuerzo físico en el personal de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba?

## **1.3 Preguntas Directrices**

- a) ¿Cómo identificar si la frecuencia cardíaca en estado de reposo se encuentra dentro de los rangos normales de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba?
- b) ¿Qué equipos de medición no intrusiva se utilizarán en el sistema de medición centralizado y valoración de la frecuencia cardíaca de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba?



- c) ¿La implementación de un sistema de medición de la frecuencia cardíaca basado en WSN permitirá la transmisión de la variable medida desde cada puesto de trabajo de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba hasta las oficinas administrativas?
- d) ¿Una aplicación informática facilitará el monitoreo y registro de la frecuencia cardíaca de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba, para luego valorar el esfuerzo físico realizado?
- e) ¿Cómo se puede determinar la funcionalidad del sistema de medición no intrusivo basado en WSN para medir la variación de la frecuencia cardíaca de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino en el Camal Municipal de Riobamba?

#### **1.4 Justificación de la Investigación**

El presente proyecto busca combinar las nuevas tecnologías y aplicarlas a la medicina; con el objetivo principal de generar un sistema de medición de la frecuencia cardíaca que ayude a determinar el esfuerzo físico experimentado por el trabajador, mientras efectúa sus actividades laborales durante un horario determinado, de esta manera obtener un sistema moderno con el propósito de proteger y promover la salud y bienestar de los trabajadores.

Es fundamental identificar de manera temprana los síntomas de enfermedades relacionadas con el sobreesfuerzo o simplemente identificar si el trabajador tiene algún tipo de afección en su salud. Y así influir positivamente en el estado físico y mental, debido a que al conocer cual puesto de trabajo o actividad laboral produce más esfuerzo físico, se podrá implementar correctivos y disminuir la aparición del cansancio, fatiga, enfermedades ocupacionales, etc., como resultado se obtendrá mejorar la productividad en el trabajador.

Con la implementación de un sistema moderno de medición de la frecuencia cardíaca, basado en la WSN se asegura que el sistema sea inalámbrico con un rango máximo de 60 metros en interiores y monitorización simultánea de siete puestos de trabajo durante un periodo de cuatro a cinco horas. El sistema mediante la determinación de los índices Cardíacos, la aplicación de criterios, la valorización del gasto energético en función de

los grados de penosidad, la carga física y el ciclo de trabajo permite valorar el esfuerzo físico sin necesidad de la presencia de un médico ocupacional, la adquisición de dispositivos médicos, la interrupción de las actividades diarias del personal, etc. Se enfatiza en el desarrollo de este tipo de sistemas inalámbricos que se usaran posteriormente en diferentes áreas de la medicina y así contribuir a resolver problemas de monitorización de variables fisiológicas.

Se eligió para la implementación del sistema el personal de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba, debido a que las actividades realizadas en estos puestos de trabajo incluyen: movimientos repetidos, posiciones forzadas, en algunos casos levantamientos de cargas, etc. además el proceso faenamiento debe ser el menor posible, de esta manera se evita que las vísceras permanezcan por tiempos prolongados dentro del cuerpo del bovino. Efectuar el registro manual de la frecuencia cardíaca es poco eficiente debido a que una vez que los trabajadores se ubiquen en sus puestos no podrán abandonarlos hasta terminar sus labores. El desarrollo de este sistema basado en las comunicaciones inalámbricas permitirá sensar de manera constante la frecuencia cardíaca sin interrupciones en las actividades diarias.

## **1.5 Objetivos de la Investigación**

### ***1.5.1 Objetivo General***

Diseñar un sistema de medición de frecuencia cardíaca para la determinación del esfuerzo físico en el personal de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- 1.** Identificar la frecuencia cardíaca en estado de reposo de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba.

2. Determinar los equipos de medición no intrusiva a usar en el sistema de medición centralizado y valoración, para medir la variación de la frecuencia cardíaca de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba.
3. Implementar un sistema de medición de la frecuencia cardíaca basado en WSN que permita la transmisión de la variable medida desde cada puesto de trabajo de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba hasta las oficinas administrativas.
4. Diseñar una aplicación informática que facilite el monitoreo, registro de la frecuencia cardíaca y valoración del esfuerzo físico de los trabajadores en la línea de faenamiento bovino en el Camal Municipal de Riobamba.
5. Evaluar la implementación del sistema de medición no intrusivo basado en WSN para medir la frecuencia cardíaca y determinar el esfuerzo físico de los trabajadores de la línea de faenamiento de bovinos en el Camal Municipal de Riobamba a través de la comparación de parámetros obtenidos mediante históricos, reportes y registros; utilizados para la protección, promoción de la salud y el bienestar de los trabajadores.

## **1.6 Hipótesis**

Los bpm registrados por el sistema de medición de la frecuencia cardíaca basado en una WSN e implementado en el personal de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba son diferentes en cada puesto de trabajo.

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del Problema**

La determinación de la carga física de trabajo mediante el uso de métodos indirectos basados en la monitorización de la frecuencia cardíaca son los más utilizados, por ser económicos y de fácil uso, así también llegan a ser de gran ayuda en el desarrollo de proyectos y aplicaciones basadas en las nuevas tecnologías, como son las redes de sensores inalámbricas que ayudan a monitorear variables fisiológicas de manera remota, con el fin de ayudar a la identificación temprana de la fatiga y repercusiones en la salud como enfermedades del corazón causadas por el sobre esfuerzo físico, además permiten a las personas cumplir sus actividades normalmente sin impedimentos.

En el área de la medicina y más encaminadas al medio deportivo, las redes y tecnologías inalámbricas tienen un protagonismo importante de hecho, se puede utilizar dispositivos, sensores y equipos interconectados al cuerpo para medir variables como: presión, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura corporal, etc., con el fin de monitorear de manera continua mediante el uso de telecomunicaciones y tecnologías de la información (TICs).

Se ha realizado varias investigaciones y efectuado varios proyectos en estas nuevas tecnologías inalámbricas, como es la telemedicina y la e-salud. En el 2016 en la Segunda Conferencia Internacional sobre Inteligencia Computacional y Tecnología de la Comunicación se presentó la investigación titulada “Análisis de frecuencia cardíaca y monitorización de pacientes externos a través de la red de sensores inalámbricos” la cual a partir del experimento en comparación de la tecnología inalámbrica en el sistema de monitorización inalámbrico, mostró que la tecnología de radiofrecuencia es capaz de transmitir datos eficientes. (Choudhary, D & Kumar, R, 2016). De igual

manera en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Tecnología Malaysia presentó la investigación titulada “Redes de sensores inalámbricos XBee para la monitorización de la frecuencia cardíaca en el entrenamiento deportivo”, y concluyó que la red de sensores inalámbricos ha demostrado funcionar satisfactoriamente en la emisión y recepción de la frecuencia cardíaca de atletas, por lo que permitió el monitoreo simultáneo y por ellos mismo. (Zulkifli, N. S. A., Harun, F. C., & Azahar, N. S, 2012).

La universidad Pontificia Bolivariana (Colombia) realizó el “Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas” del cual concluyó que las redes WSN constituyen una nueva alternativa viable para el control de procesos, el desarrollo en este campo promete nuevos avances y aplicaciones que permitirán hacer efectivo un mejor cuidado de la salud y control médico de personas que así lo requieran. (Campaña & Londoño, 2013). Igualmente en la escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valparaíso (Chile) a través del proyecto FONDEF IT13I10035 el cual desarrolló un sistema móvil de monitoreo no intrusivo de señales biomédicas y tiene como objetivo determinar el estrés, la fatiga y somnolencia de los usuarios, dedicado especialmente para el mercado laboral. (Weinstein, 2015)

El año anterior en la Pontificada Universidad Católica de Ecuador, Wenceslao Ruiz presentó su tesis de estudios de Postgrado: “Redes de sensores inalámbricos enfocados a la Medicina con énfasis en control de los signos vitales en pacientes Adultos Mayores”, el trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar las redes con sensores de forma inalámbrica, conocer los protocolos de comunicación, con los conocimientos obtenidos, construir un correcto sistema de medición, a su vez poder aplicar los beneficios de la tecnología enfocados en la medicina, para ayuda del paciente adulto mayor. (Ruiz , 2016)

El planteamiento anterior nos muestra que el uso de WSN y sensores inalámbricos facilitan la monitorización de variables biomédicas sin interferir en las actividades cotidianas del usuario y que se puede efectuar dicha monitorización en tiempo real de

los síntomas de los pacientes para brindar una atención médica oportuna y en este caso ayuda a determinar el esfuerzo realizado por el trabajador.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Frecuencia Cardíaca y Pulso**

La frecuencia cardíaca (FC) se define “como el número de veces que el corazón late o se contrae en un minuto” mientras que el pulso es “el número de veces por minuto que las arterias se expanden o contraen cada vez que el corazón bombea sangre” (MacGill, 2017). Es decir que: el pulso es igual a la frecuencia cardíaca y es medida mediante latidos por minuto o bpm por sus siglas en inglés (beats per minute).

La frecuencia cardíaca se incrementa con el esfuerzo, con el objetivo de proveer de más oxígeno y energía para la actividad



**Figura 1-2:** Frecuencia Cardíaca  
Fuente: (CrypticImages, 2017)

#### **2.2.1.1 Frecuencia cardíaca en reposo (FCR)**

La frecuencia cardíaca medida en una persona adulta en reposo, se establece entre 60 a 80 latidos por minuto, en personas sedentarias y de mediana edad la FCR puede superar los 100 latidos por minuto, mientras que en un deportista de alto rendimiento el ritmo oscila entre los 28 a 40 latidos por minuto. Wilmore & Costill como se cita en (Santa, 2014) manifiesta que “la verdadera frecuencia cardíaca en reposo de ser medida bajo condiciones de total relajación, tales como a primeras horas en la mañana al levantarse después de un sueño reparador”.

En la Tabla 1-2 se aprecia los valores de referencia de la frecuencia cardíaca en reposo en función de edad y sexo.

**Tabla 1-2:** Valores de referencia de la FCR en función de edad y sexo

Hombres	Inadecuado	Normal	Buena	Excelente
20 - 29 años	86 o más	70 - 84	62 - 68	60 o menos
30 - 39 años	86 o más	72 - 84	64 - 70	62 o menos
40 - 49 años	90 o más	74 - 88	66 - 72	64 o menos
50 - 59 años	90 o más	74 - 88	68 - 74	66 o menos
60 años o mas	90 o más	76 - 90	70 - 76	68 o menos
Mujeres	Inadecuado	Normal	Buena	Excelente
20 - 29 años	96 o más	78 - 94	72 - 76	70 o menos
30 - 39 años	98 o más	80 - 96	72 - 78	70 o menos
40 - 49 años	100 o más	80 - 98	74 - 78	72 o menos
50 - 59 años	104 o más	84 - 102	76 - 82	74 o menos
60 años o mas	108 o más	88 - 106	78 - 88	78 o menos

Fuente: (Santa, 2014)

En la Tabla 2-2 se observa la frecuencia cardíaca en función del estado físico de la persona.

**Tabla 2-2:** Frecuencia cardíaca en reposo y en ejercicio

Estado	Adulto Sedentario (bpm)	Adulto en forma (bpm)	Deportista (bpm)
<b>Reposo</b>	Entre 70 y 90	Entre 60 y 80	Entre 40 y 60
<b>Ejercicio aeróbico</b>	Entre 110 y 130	Entre 120 y 140	Entre 140 y 160
<b>Ejercicio intenso</b>	Entre 130 y 150	Entre 140 y 160	Entre 160 y 200

Fuente: Stanford University citado en ((Carrasco, 2016)

Mientras que en la Tabla 3-2 se muestra la frecuencia cardíaca según el esfuerzo realizado.

**Tabla 3-2:** Frecuencia cardíaca según el esfuerzo realizado

Edad (años)	Frecuencia Cardíaca al 50-85 por cientos de esfuerzo (bpm)	Frecuencia Cardíaca Máxima promedio al 100 porciento (bpm)
20	100 a 170	200
30	95 a 162	190
35	93 a 157	185
40	90 a 153	180
45	88 a 149	175
50	85 a 145	170
55	83 a 140	165
60	80 a 136	160
65	78 a 132	155
70	75 a 128	150

Fuente: (MacGill, 2017)

### *2.2.1.2 Factores que afectan la frecuencia cardíaca*

Según (American Heart Association, 2015) existen varios factores los cuales afectan la frecuencia cardíaca entre ellos se encuentran:

**Temperatura Ambiental:** cuando la temperatura o la humedad incrementan, el corazón late ligeramente más rápido; entre cinco y diez latidos por minuto.

**Posición del cuerpo:** recostado, sentado, o de pie; generalmente el pulso es el mismo. A veces, al ponerse de pie el pulso se incrementa un poco en los primeros 15 a 20 segundos pero después de unos pocos minutos debe normalizarse.

**Emociones:** el stress, la ansiedad, la felicidad o tristeza pueden incrementar el pulso.

**Tamaño del cuerpo:** el tamaño del cuerpo generalmente no cambia el pulso, excepto si hay mucho sobrepeso entonces el pulso Cardíaco incrementará, pero generalmente no más de 100.

**Uso de medicamento:** los medicamentos que bloquean la adrenalina (bloqueadores beta) ralentizan el pulso, por otro lado, demasiado medicamento para la tiroides o en altas dosis elevará el pulso.

### *2.2.2 Carga de trabajo*

Comúnmente conocido como esfuerzo, es un factor de riesgo presente en cualquier actividad laboral y es definida como “el conjunto de requerimientos psico-físicos a los que el trabajador se ve sometido a lo largo de la jornada laboral” (INSHT n° NTP 177, s.f.). Esta definición engloba todos los tipos de esfuerzos tanto en el aspecto físico como en el aspecto mental.

Se dividen en carga física de trabajo y en carga mental.

#### *2.2.2.1 Carga física*

La carga física es el “conjunto de los requerimientos físicos a los que se encuentra sometida la persona durante una jornada de trabajo” (INSHT n° NTP 177, s.f.). Por



ejemplo al ejecutar movimientos de manera repetitiva y con movimientos rápidos, al levantar objetos pesados, soportar y/o trasladar el peso de las cargas en un largo periodo, adoptar posturas estáticas o forzadas, entre otros, constituyen riesgos para la salud.

Su objetivo es evaluar y determinar el grado de exigencia física de las tareas para poder corregir y eliminar los trabajos pesados.

Los requerimientos físicos son:

- **Esfuerzos físicos:**

Existe esfuerzo físico cuando se desarrolla una actividad muscular, esta actividad o trabajo muscular implica “el poner en acción una serie de músculos que aportan la fuerza necesaria” (INSHT n° NTP 177, s.f.), para la realización de un trabajo.

El trabajo muscular puede ser *estático*: cuando los músculos se mantienen contraídos durante un período de tiempo, se realiza un esfuerzo sostenido como por ejemplo permanecer de pie, (ver la Figura 2-2), o *dinámica*: cuando los músculos se tensan y relajan sucesivamente en una actividad, durante un período de tiempo corto; como por ejemplo andar.



**Figura 2-2:** Trabajo muscular estático  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Para el adecuado desarrollo de un trabajo es necesario la combinación de los dos tipos de esfuerzos, puesto que al ejecutar cualquier actividad demanda de un esfuerzo físico importante que se refleja en el consumo de gran cantidad de energía, y un aumento en el ritmo respiratorio y cardíaco. La combinación de los esfuerzos mantendrá los valores de los ritmos respiratorio y cardíaco dentro de los rangos razonables y evita la sobrecarga de trabajo (Instituto Navaro de Salud Laboral, 2010).

- **Posturas de trabajo**

Las posturas desfavorables como usar sillas inadecuadas o poco ergonómicas, adoptar posiciones forzadas y difíciles para alcanzar un objeto, una inclinación exagerada a la mesa de trabajo por falta de una correcta iluminación, entre otros, conllevan a un trabajo pesado y desagradable y tiene como consecuencia la aparición más rápida del cansancio a corto plazo, mientras que a largo plazo daños a la salud, como dolor de espalda, ciática, varices, hemorroides, etc.

El trabajo sentado es la postura de trabajo más confortable, pero llega a ser incomoda cuando no dispone de los elementos para la realización del trabajo, o cuando no existe alguna actividad que brinde cierto movimiento.

El trabajo de pie demanda de una sobrecarga en los músculos de las piernas, la espalda y los hombros cuando se permanece mucho tiempo en esta postura. (Ver la Figura 3-2).



**Figura 3-2:** Trabajado de pie y movimientos repetitivos  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

- **Manipulación de cargas:** para evitar y prevenir dolores de espaldas o lesiones más graves como varices en piernas, dolores musculares, etc. investigadores en el campo de Ergonomía han considerado “aceptable la manipulación de una masa máxima de 25Kg, cuando las condiciones de manutención se respeten”. (Instituto Navaro de Salud Laboral, 2010).

#### 2.2.2.2 *Carga mental*

La carga mental es el “grado de actividad mental que se necesita para realizar un trabajo”. (Instituto Navaro de Salud Laboral, 2010), es decir es el grado de procesamiento de la información que realiza una persona para realizar su trabajo. Los factores que inciden en la carga mental se enlistan a continuación:

- La cantidad de información recibida
- La complejidad de la respuesta exigida
- Tiempo de respuesta
- Capacidades intelectuales individuales

#### 2.2.3 *Fatiga*

La fatiga es la principal consecuencia de la carga de trabajo, y se define como la “disminución de la capacidad física y mental de un individuo, después de haber realizado un trabajo durante un período de tiempo determinado” (Instituto Navaro de Salud Laboral, 2010).

Se considera normal que síntomas como disminución de la atención y capacidad de trabajo aparezcan simultáneamente al finalizar la jornada laboral esto como respuesta del trabajo realizado.

Las personas se recuperan del cansancio durante los períodos de descanso, pausas realizadas durante la jornada de trabajo, durante su tiempo de ocio o después de una noche de descanso. Pero si el trabajo demanda de un esfuerzo o concentración

prolongados, excesivos y con frecuencia recurrentes la persona no podrá recuperarse, entonces experimentará un estado de fatiga prolonga o crónica.

Las consecuencias de la fatiga física son:

- El trabajador presenta cansancio anormal
- Disminución en la coordinación de movimientos corporales
- Disminución del rendimiento laboral
- Padecimiento de malestar muscular
- Estrés
- Etc.

#### ***2.2.4 Criterios de valoración de la carga física***

Basado en la (INSHT n° NTP 177, s.f.) que indica que los criterios de valoración de la carga física son:

- Consumo de energía: por medio de la observación de la actividad a desarrollar por el operario, descompone todas las operaciones en movimientos elementales, y mediante el cálculo con la ayuda de tablas, el consumo total.
- Consumo de oxígeno del operario durante el trabajo: dado que existe una relación lineal entre el volumen de aire respirado y el consumo energético.
- Análisis de la Frecuencia cardíaca para calcular el consumo energético.

#### ***2.2.5 Valoración de la carga física***

Es un método indirecto de estimación basado en la relación que existe entre el gasto energético y ciertas variables fisiológicas pero especialmente en la frecuencia cardíaca. Como ventajas tiene: aplicación sencilla, mínimas molestias para la persona a ser evaluada y valora los efectos directos sobre el sistema cardiovascular del trabajador. La principal y más importante desventaja es que es un método que valora globalmente la carga de trabajo sobre el individuo e incluye factores externos como temperatura, el estado emocional, estado físico, etc. y varía de individuo a individuo.

Los instrumentos que ayudan en la monitorización de la frecuencia cardíaca son el pulsómetro o cardiófrecuencímetro y el Holter que es un dispositivo que permite la grabación de la actividad cardíaca de forma continua y ambulatoria.

#### 2.2.5.1 *Ventajas de la frecuencia cardíaca en la valoración de la carga física*

En la (INSHT n° NTP 295, s.f.) Indica las ventajas de la elección de la frecuencia cardíaca frente al consumo de oxígeno en la valoración in situ de la carga física:

- La aceptación del método por parte del trabajador: el medidor de consumo de oxígeno requiere de la utilización de una mascarilla y de una conexión engorrosa con el medidor, lo que lo hace poco atractivo para el trabajador. No así el Holter o el frecuencímetro que se llevan de forma más disimulada y menos aparatosa.
- La no interferencia con las tareas habituales: cuando un sujeto está unido a un aparato registrador sus movimientos pueden verse modificados por el mero hecho de llevarlo: cambios en los hábitos de trabajo, mayor esfuerzo por el peso del aparato y por el uso de la mascarilla, posturas inadecuadas, cuestiones que son mucho más flagrantes con el medidor de consumo de oxígeno.
- La validez aceptable del test escogido en relación con su reproducibilidad, especificidad y sensibilidad.

La frecuencia cardíaca es un método que permite estudiar varias reacciones derivadas como muestra la Tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Reacciones derivadas de la frecuencia cardíaca

<b>Condiciones de trabajo:</b>	<b>Condiciones propias del individuo:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Carga física de trabajo dinámica y estática</li> <li>▪ Carga térmica de trabajo</li> <li>▪ Carga emocional de trabajo: reacciones al ruido, al estrés...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digestión</li> <li>▪ Estado emocional particular</li> <li>▪ Ritmo biológico propio</li> <li>▪ Estado de salud: integridad cardíaca, condición física...</li> </ul>

Fuente: (INSHT n° NTP 295, s.f.)

### 2.2.6 Valores e índices derivados del estudio de la frecuencia cardíaca

Cualitativo: detecta las actividades donde la demanda cardíaca es intensa, durante las horas de trabajo o lo largo del día.

Cuantitativo: los valores que se obtienen en la monitorización son:

- **Frecuencia Cardíaca en reposo (FCR):** es la frecuencia cardíaca medida cuando el individuo se encuentra sentado, de pie o recostado en estado de reposo, durante 5-10 minutos. La frecuencia teórica de reposo es considerada en hombres de 60 latidos por minuto y en mujeres de 70 latidos.

Según (INSHT n° NTP 295, s.f.) para trabajos netamente de “campo”, en empresas, las frecuencias cardíacas más útiles son:

- $FCR1$  = Percentil 1 del período de trabajo monitorizado.
- $FCR2$  = Moda de un período de reposo de 10 minutos sentado, antes de iniciar el trabajo.
- **Frecuencia media de trabajo (FCM):** es el valor medio de las frecuencias medidas en el desarrollo de una tarea o trabajo, se calcula dentro del rango entre el percentil 5 y el percentil 95, se toma la media de todos los valores de frecuencia medidos durante un período de tiempo determinado.
- **Frecuencia cardíaca máxima (FCMax):** es el valor máximo de las frecuencias medidas durante un período de tiempo; generalmente es el percentil 95.
- **Frecuencia cardíaca máxima teórica (FCMax<sub>t</sub>):** es la frecuencia cardíaca máxima a la que el trabajador puede llegar y se calcula a partir de la edad con la siguiente formula:

$$FCMax_t = 220 - \text{edad en años del trabajador}$$

- **Incremento de la frecuencia cardíaca ( $\Delta FC$ ):** es la diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima y la frecuencia media registrada.

$$\Delta FC = FC_{Max} - FCM$$

- **Costo Cardíaco Absoluto (CCA):** es un índice que permite estudiar “la tolerancia individual de un trabajador frente a una tarea determinada” (INSHT n° NTP 295, s.f.). Brinda una idea aproximada de la carga de trabajo de un puesto de trabajo, se calcula de la siguiente manera:

$$CCA = FCM - FCR$$

- **Costo Cardíaco Relativo (CCR):** es el índice que brinda una idea del grado de adaptación de la persona a su puesto de trabajo, y se calcula:

$$CCR = \frac{CCA}{(FC_{Max_t} - FCR)}$$

### ***2.2.7 Criterios de Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca.***

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes clasificaciones de la intensidad de la carga de trabajo asociado a la frecuencia cardíaca. En la Figura 4-2 se muestran algunas de las clasificaciones.

Por otro lado, en la normativa NTP 295: Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca, categoriza los puestos de trabajo según la carga física que representa de manera individual como colectiva, utiliza las siguientes propuestas:

- La propuesta de Frimat P. para fases cortas de trabajo
- La propuesta de Chamoux A. para el estudio global del puesto de trabajo.

Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Christensen

Muy fácil	Fácil	Medio	Pesado	Muy pesado	Inusualmente pesado
+ de 75	75-100	100-125	125-150	150-175	Encima de 175
latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min
2,5-1	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-12,5	Encima de 12,5
kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min

Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Wells *et al.*

Fácil	Moderado	Óptimo	Exigente
Debajo de 100	100-120	120-150	Superior a 140
latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min
Debajo de 4	4-7	7,5-10	Superior a 10
kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min

Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Rosenblat

Trabajo fácil	Intensidad moderada de trabajo físico	Intensidad pesada de trabajo físico	Intensidad muy pesada de trabajo físico
Debajo de 90	90-99	100-119	Superior a 120
latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min

**Figura 4-2:** Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo a varios autores

Fuente: (Castillo & Cubillos, 2014)

La *metodología* que propone estos estudios de la frecuencia cardíaca tiene como condiciones:

- El trabajador debe llevar como mínimo dos semanas en el puesto objeto de valoración.
- No deberá trabajar a tiempo parcial: su jornada será de como mínimo 8h/día.
- No padecer ninguna enfermedad cardíaca o respiratoria, esto incluye el resfriado común.

Adicionalmente, estos métodos demandan que se rellene una ficha de datos antes de colocar el pulsómetro o Holter, en una sala climatizada. Después de colocar el instrumento de medida, se pedirá al trabajador que se siente y descansa durante 10 minutos.

Estos métodos *recomiendan* la monitorización de un mínimo de cuatro (4) horas y se marcara los siguientes tiempos:



- Inicio y final de la pausa inicial.
- Inicio y final de cada ciclo de trabajo.
- Cualquier evento significativo: interrupciones del ciclo de trabajo, movimientos o períodos externos en relación con la carga física.

Finalmente, se retira el instrumento de medición y en una ficha de valoración individual se llenan todos los datos obtenidos.

Los criterios de valoración propuestos son:

#### 2.2.7.1 Criterio de Frimat

El criterio de Frimat como se vio anteriormente es usado cuando se valora fases cortas del trabajo. Consiste en valorar las variables FCM,  $\Delta FC$ , FCMax, CCA, CCR, mediante la asignación un coeficiente de penosidad, cuyo rango de valores oscilan entre 1 y 6 en orden de penosidad creciente, como se muestra en la Tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Coeficiente de Penosidad de Frimat

Coeficiente de penosidad					
Variable	1	2	4	5	6
<b>FCM</b>	90-94	95-99	100-104	105-109	$\geq 110$
<b><math>\Delta FC</math></b>	20-24	25-29	30-34	35-39	$\geq 40$
<b>FCMax</b>	110-119	120-129	130-139	140-149	$\geq 150$
<b>CCA</b>	10	15	20	25	30
<b>CCR</b>	10%	15%	20%	25%	30%

Fuente: (Llaneza, 2009)

En función del resultado de la sumatoria de los coeficientes de las variables se valorara el puesto de trabajo en base a la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Valoración del puesto de trabajo según Frimat

Puntos	Valoración
25	Extremadamente dura
24	Muy dura
22	Dura
20	Penosa
18	Soportable
14	Ligera
12	Muy ligera
$\leq 10$	Carga física mínima

Fuente: (Llaneza, 2009)

### 2.2.7.2 Criterio de Chamoux

El criterio de Chamoux es usado cuando se realiza la valoración global del puesto de trabajo en jornadas laborales de ocho horas consecutivas.

Una vez conocidas el valor del costo cardíaco absoluto **CCA** y el coste Cardíaco relativo **CCR**, se valoran las variables mediante las Tablas 7-2 y 8-2:

**Tabla 7-2:** Valoración mediante CCA según Chamoux

A partir del CCA Coste absoluto del puesto de trabajo	
Puntos	Valoración
0 - 9	Muy ligera
10 - 19	Ligera
20 - 29	Moderada
30 - 39	Pesada
40 - 49	Muy pesada

Fuente: (Llaneza, 2009)

**Tabla 8-2:** Valoración mediante CCR según Chamoux

A partir del CCR Coste relativo para la persona	
Puntos	Valoración
0 - 9	Muy ligera
10 - 19	Ligera
20 - 29	Muy Moderada
30 - 39	Moderada
40 - 49	Algo pesada
50 - 59	Pesada
60 - 69	Intensa

Fuente: (Llaneza, 2009)

### 2.2.8 Sensores

Un sensor es un dispositivo que, a partir de un estímulo, da una señal eléctrica de salida, la cual permite un procesamiento posterior mediante microcontroladores, FPGA o cualquier otro sistema de control y monitoreo.

A pesar de existir diferentes tipos de sensores comparten características similares, por lo que tendremos que tener en cuenta algunos aspectos al momento de seleccionar un sensor.

Según (Balcells & Romeral, 1997), las principales características son:

- **Campo de medida:** Rango de valores de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.
- **Resolución:** Mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir.
- **Sensibilidad:** Variación de la salida producida por una variación de entrada. Pendiente de la curva de calibración. Cuanto mayor, mejor.
- **Linealidad:** Cercanía de la curva característica a una recta especificada. Linealidad equivale a sensibilidad cte.
- **Saturación:** No linealidad producida por disminución de sensibilidad típicamente al principio o al final del rango.
- **Histéresis:** Diferencia entre valores de salida correspondientes a la misma entrada, según la trayectoria seguida por el sensor.
- **Exactitud:** Diferencia entre la salida real y el valor teórico de dicha salida (valor verdadero). Se suele dar en valor absoluto o relativo.
- **Precisión:** Capacidad de obtener la misma salida cuando se realizan varias lecturas de la misma entrada y en las mismas condiciones.

#### *2.2.8.1 Sensor de pulso*

Para tener una mejor comprensión de que son y cómo funcionan los sensores de pulso, se debe definir que es la Fotoplethysmografía que no es más que un proceso que se utiliza para estimar el flujo sanguíneo de la piel con luz infrarroja. Básicamente se emite luz verde de un Led sobre la piel y la variación de intensidad de luz que se refleja es recibida por un fotodiodo, la cantidad de luz reflejada difiere de manera proporcional al pulso cardíaco; es decir que entre más flujo sanguíneo haya en las venas, habrá una alta intensidad de luz reflejada y de la misma manera mientras menos flujo sanguíneo haya en las venas, menor será la intensidad de luz reflejada. (Morales, 2017).

### 2.2.9 Redes inalámbricas

Una red inalámbrica es un conjunto de distintos dispositivos con la capacidad de comunicarse entre sí sin la necesidad de una conexión por cable. Las redes inalámbricas se basan en un enlace que utiliza ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio y llevan información de un lugar a otro en lugar de cableado estándar (CCM, 2017).

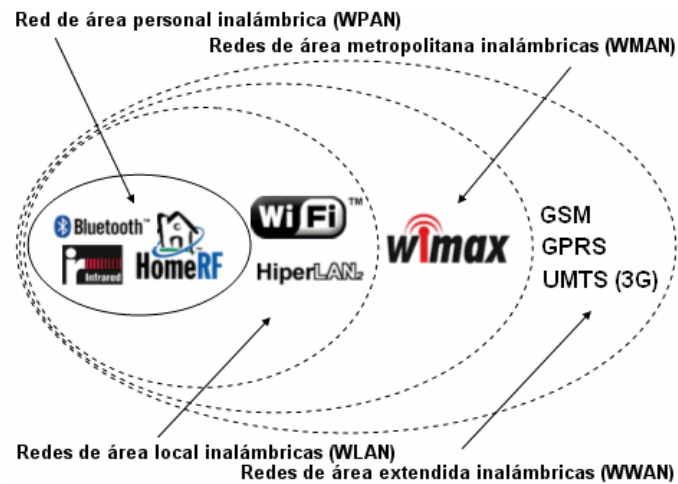
#### 2.2.9.1 Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden clasificar de diversas maneras, pero al tomarse en cuenta el área de aplicación y el alcance para el desarrollo del control local, es a partir de esto que las mismas son clasificadas en tres diferentes tipos:

- **Redes inalámbricas de área personal (WPAN):** Este tipo de redes se basan en el estándar IEEE 802.15 que permite la comunicación en un rango de distancias muy cortas, unos 10 metros, además, se caracteriza por su bajo consumo de energía y una baja velocidad de transmisión. Las tecnologías más utilizadas de WPAN son las siguientes: Bluetooth, IrDA, ZigBee, DECT, NFC y UWB.
- **Redes inalámbricas de área local (WLAN):** Son redes pequeñas basadas en el estándar IEEE 802.11 que permiten cubrir una distancia de varios cientos de metros, además manejan velocidades entre 10 y 100 Mbps. Éste es el caso de Wi-Fi u HomeRF.
- **Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN):** Estas redes se basan en el estándar de comunicación inalámbrica IEEE 802.16. Tienen un radio de acción de varias decenas de kilómetros, además, utiliza ondas de radio o luz infrarroja para transmitir la información. La tecnología más utilizada de WMAN hoy en día es el WiMAX.
- **Redes inalámbricas de área extensa (WWAN):** Están basadas en tecnologías de red celular y han aparecido como evolución de las comunicaciones móviles de voz. Este es el caso de las UMTS (Universal

Mobile Telecommunications System), GPRS, GSM y 3G para transferir los datos.

En la Figura 5-2 se muestra lo mencionado anteriormente.



**Figura 5-2:** Tipos de redes inalámbricas  
Fuente: (CCM, 2017)

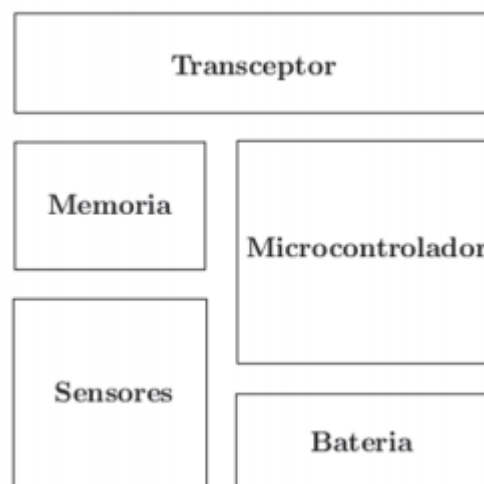
#### **2.2.10 Red de sensores inalámbricos (WSN)**

La red de sensores inalámbricos o WSN se componen de sistemas integrados individuales que son capaces de interactuar con su entorno a través de varios sensores, con capacidad de procesamiento local de información y comunicación de esta información de forma inalámbrica con sus nodos vecinos (Akyildiz & Can Vuran, 2010).

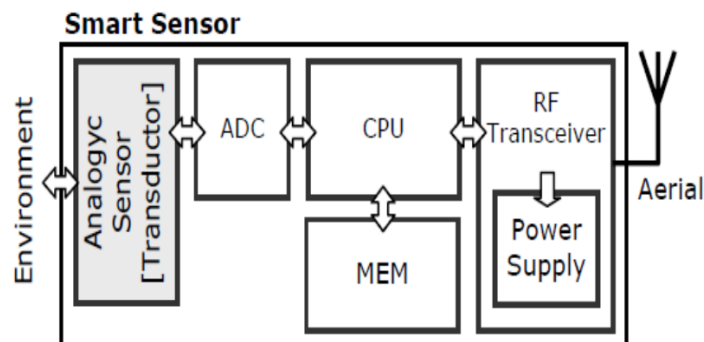
Generalmente, un nodo sensor consta de tres componentes y puede ser una placa individual o incrustada en un solo sistema:

- **Módulos inalámbricos:** También conocidos como mote son los componentes clave de la red de sensores porque poseen capacidades de comunicación y la memoria programable donde reside el código de la aplicación. Un mote generalmente consta de un microcontrolador, transceptor, fuente de alimentación, unidad de memoria y contiene algunos sensores. Ver Figura 6-2.

- **Una placa de sensor:** Está montada en la mote y está integrada con múltiples tipos de sensores. La placa del sensor también puede incluir un área de creación de prototipos que se utiliza para conectar sensores personalizados adicionales.
- **Una placa de programación:** También conocida como la placa de puerta de enlace, proporciona múltiples interfaces que incluyen Ethernet, Radiofrecuencia, WiFi, USB o puertos serie para conectar diferentes motes a una red empresarial o industrial o localmente a una PC. Estas placas se utilizan para programar los motes o para recopilar datos de ellas.



**Figura 6-2:** Partes de un nodo sensor  
Fuente: (Núñez, 2014)



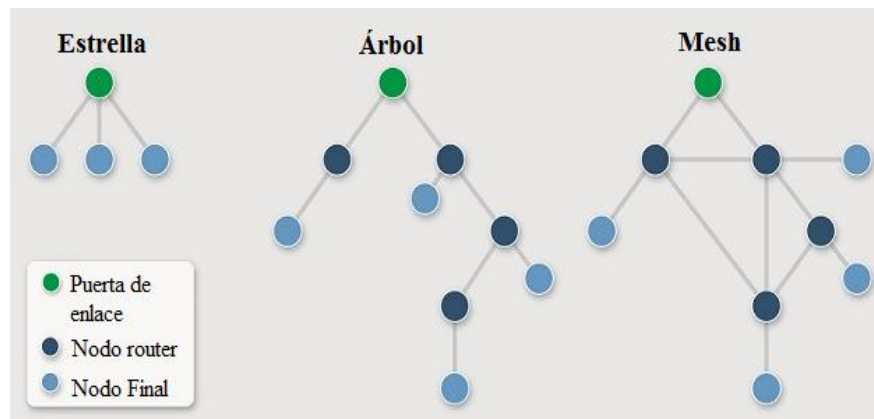
**Figura 7-2:** Estructura interna de un sensor inalámbrico inteligente  
Fuente: (Capella, Maciá, & Ramos, s.f.)

#### 2.2.10.1 Topología de redes de sensores inalámbricos

La topología se refiere a cómo se organizan los nodos dentro de la red. Por lo que el desarrollo y la implementación de las redes de sensores inalámbricos han tomado los

mismos principios generales de topología para cualquier otra red. A continuación, se incluyen breves detalles de tres tipos de topologías de red (Ver Figura 8-2).

- **Topología de Estrella:** Es aquella en la que cada nodo sensor se conecta directamente a una puerta de enlace.
- **Topología de Árbol:** Cada nodo se conecta a un nodo superior en el árbol y después a la puerta de enlace, mientras que los datos se enrutan desde el nodo más bajo del árbol hasta la puerta de enlace.
- **Topología Mesh:** Las redes Mesh cuentan con nodos que pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y transmitir datos a través de la ruta más confiable disponible. Este enlace de malla a menudo se denomina enrutador.



**Figura 8-2:** Topologías de red WSN comunes  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 2.2.10.2 Estado de los nodos de una red de sensores

Las redes de sensores inalámbricos, permite algunos de los siguientes estados para gestionar la energía al utilizar diferentes protocolos de enrutamiento.

- **Sleep (dormir):** Es el estado en el cual el nodo apaga su receptor y de esta manera reservar la energía para tareas de detección.
- **Wake Up (despertar):** Estado de conversión entre el sleep y el active.
- **Active (activo):** Estado en el cual el nodo empieza a detectar y registrar datos para luego transmitir mediante un sistema de radio frecuencia.

### **2.2.11 Redes ZIGBEE**

Zigbee es una tecnología inalámbrica desarrollada como un estándar global abierto para abordar las necesidades únicas de las redes inalámbricas IoT de bajo costo y bajo consumo de energía. El estándar Zigbee opera en la especificación de radio de área personal (WPAN) IEEE 802.15.4 y opera en bandas sin licencia que incluye las de 2,4 GHz, 900 MHz y 868 MHz. (Digi, 2018).

Las áreas de aplicación que puede tener son:

- Seguridad pública.
- Automatización industrial.
- Sensado automotriz.
- Juguetes interactivos.
- Agricultura de precisión.
- Medicina.
- Etc.

#### **2.2.11.1 Características de Zigbee**

Según Software Guru (2012) las características que más resaltan en las Redes Zigbee se detallan a continuación:

- **Redes y nodos:** Una red ZigBee teóricamente puede estar formada por hasta 65.535 nodos en subredes de 255 nodos, los cuales se ven truncados por ciertas restricciones físicas (memoria disponible, ancho de banda).
- **Distintas topologías:** Estrella, punto a punto, árbol y malla (MESH). De estas cuatro, la más usada es la MESH que permite a la red auto recuperarse de fallos y asegura la confiabilidad de la comunicación.
- **Escalabilidad de Red:** Una mejor capacidad para operar redes más grandes, brinda más opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.



- **Agilidad de Frecuencia:** Permite cambiar los canales en forma dinámica si ocurriera interferencias.
- **Identificador de red único:** Admite que algunas redes convivan en un mismo canal de comunicación sin problema alguno.
- **Protocolo de comunicación multisalto:** Permite que dos nodos se comuniquen pese a que estén fuera del rango de transmisión, Por consiguiente, la comunicación debe ser realizada por los otros nodos que los interconecten.

#### *2.2.11.2 Tipos de dispositivos ZIGBEE*

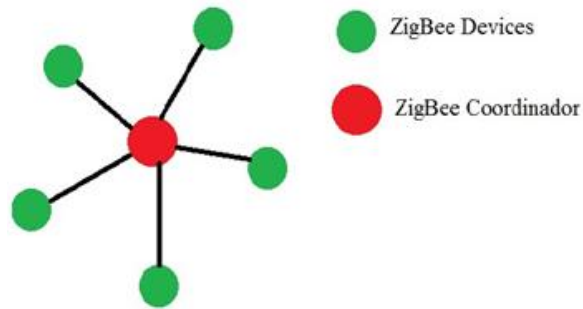
Las redes Zigbee están formadas básicamente por 3 tipos diferentes de dispositivos:

- **Coordinador:** Es el único nodo en cada red que tiene las funciones de controlar y establecer el canal de comunicación a ser usado. Es el responsable de la vinculación y desvinculación de dispositivos.
- **Router:** Es un nodo que trasmite datos de dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer una capa de aplicación para la ejecución de aplicaciones y servicios de usuario.
- **Dispositivo Final (Device):** Este dispositivo final solo puede interactuar en la red a través de un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar ni recibir datos a otro End device. De esta forma, este dispositivo puede estar en modo sleep (dormido), y así mejorar la eficiencia energética de su batería.

#### *2.2.11.3 Topologías de redes ZIGBEE.*

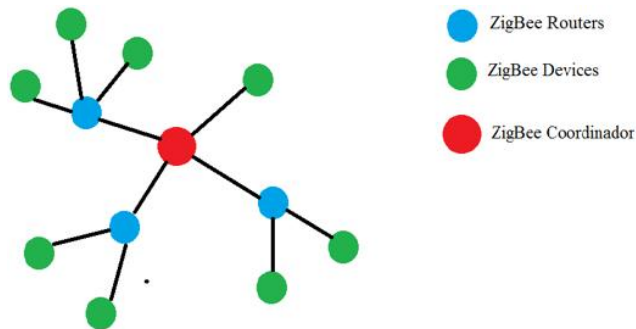
En ZigBee existen tres tipos de topologías de red distintas.

- **Topología en estrella:** En esta topología el nodo activo asume el rol de coordinador de red, ubicado en el centro y los demás módulos Devices están conectados a él.



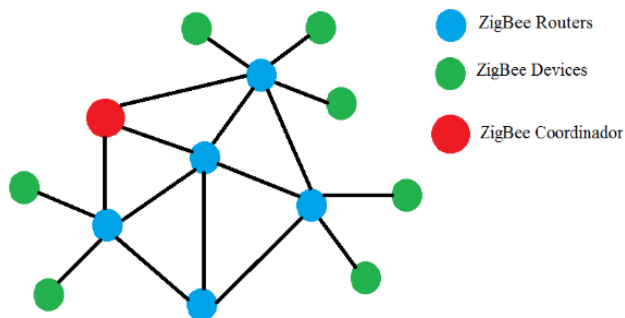
**Figura 9-2:** Red en Estrella  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

- **Topología en árbol:** Los dispositivos End Devices se encuentran al final de la red y el coordinador es el proveedor de servicios hacia otros coordinadores o routers, permite agrandar la zona de cobertura pero retrasa la transmisión de datos.



**Figura 10-2:** Topología en árbol  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

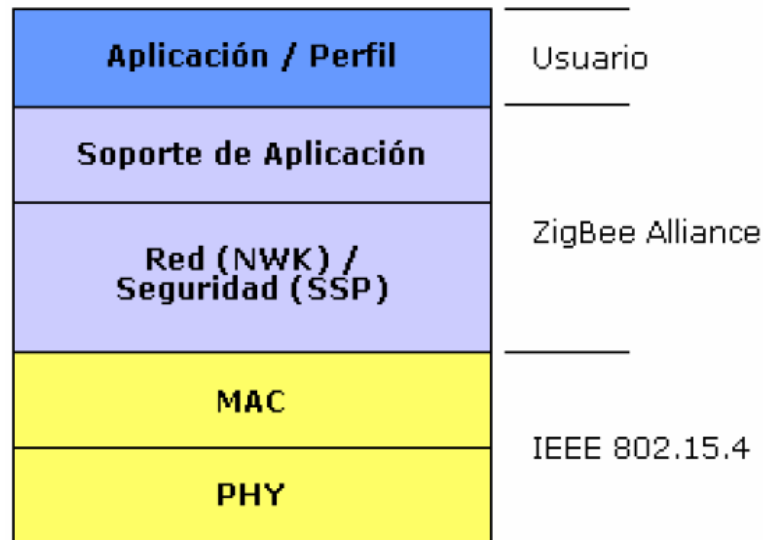
- **Topología Mesh:** Esta topología permite que los nodos activos tengan interconexión entre rutas alternativas en caso de alguna falla del nodo, pueda seguir la comunicación entre los demás nodos que forman parte de la red.



**Figura 11-2:** Topología Mesh  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 2.2.11.4 Arquitectura del estándar ZIGBEE

ZigBee es una pila de protocolos; constituida por diferentes capas, las cuales son autónomas una de la otra. En la Figura 12-2 se observan las dos primeras capas inferiores, la física (PHY) y la de acceso al medio (MAC), son descritas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas superiores son definidas por la ZigBee Alliance.



**Figura 12-2:** Capas de la pila de protocolos ZIGBEE  
Fuente: (Gutiérrez, 2015)

#### 2.2.11.5 Módulos de transmisión inalámbrica XBEE

XBee se refiere a una familia de módulos programables fabricados por DIGI International que se utiliza principalmente como transmisor y receptor de comunicación por radio. Los módulos XBee se pueden cargar con varios firmwares para admitir ZigBee, ZigBee Pro, DigiMesh y vienen en varias bandas de frecuencia.

“Estos módulos usan el protocolo de red IEEE 802.15.4 para una rápida red punto a multipunto o punto a punto. Están diseñados para aplicaciones de alto rendimiento que requieren baja latencia y sincronización de comunicación predecible” (Digi, 2018).

### 2.2.11.6 Descripción del hardware

Dentro de los módulos básicos de XBee logramos diferenciar dos tipos según su serie. Estos tipos son:

- **Serie XBee 1:** Estos módulos utilizan un procesador hecho por Freescale para la creación de redes punto a punto o redes tipo estrella.
- **Serie XBee 2:** Estos módulos usan un procesador fabricado por Ember y pueden ejecutarse en redes mesh con repetidores. Están basados en el firmware XBee ZB (ver Figura 13-2), ZigBee mesh que permite una configuración más precisa de cada nodo en la red.

Platform	XBee® ZB	XBee-PRO® ZB	Programmable XBee-PRO® ZB
Performance			
RF Data Rate	250 Kbps		
Indoor/Urban Range	133 ft (40 m)	300 ft (90 m)	
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	400 ft (120 m)	2 miles (3200 m) / Int'l 5000 ft (1500 m)	
Transmit Power	1.25 mW (+1 dBm) / 2 mW (+3 dBm) boost mode		63 mW (+18 dBm) / Int'l 10 mW (+10 dBm)
Receiver Sensitivity (1% PER)	-96 dBm in boost mode	-102 dBm	
Features			
Adjustable Power	Yes		
I/O Interface	3.3V CMOS UART, ADC, DIO		3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC
Configuration Method	API or AT commands, local or over-the-air		
Frequency Band	2.4 GHz		
Interference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		
Serial Data Rate	1200 bps - 1 Mbps		
ADC Inputs	(4) 10-bit ADC inputs		
Digital I/O	10		
Antenna Options	Chip, Wire Whip, U.FL, RPSMA	PCB Embedded Antenna, Wire Whip, U.FL, RPSMA	
Operating Temperature	-40° C to +85° C, 0-95% humidity non-condensing		

**Figura 13-2:** Características del firmware de los módulos XBee serie 2

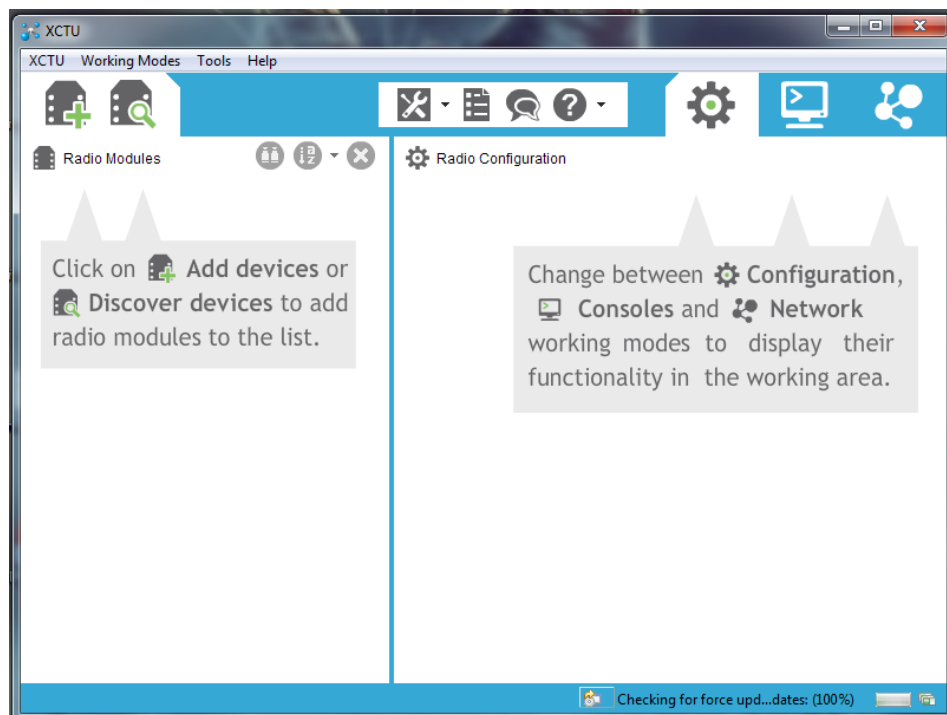
Fuente: (Digi, 2018)

### 2.2.11.7 Descripción del software Xbee

Para configurar y usar los módulos XBee es necesario descargar e instalar XBee Configuración and Test Utility (XCTU) que es un software multiplataforma de GUI gratis para interactuar con los módulos mediante una interfaz gráfica. Esta aplicación incluye herramientas que hacen muy sencillo configurar y probar los módulos RF Digi XBee. (Crespo, 2016).

XCTU permite a los desarrolladores realizar:

- Descubrir los módulos de radio locales y remotos conectados a la PC.
- Administrar y configurar múltiples dispositivos de RF.
- Llevar acabo la comunicación con sus módulos mediante el uso de comandos API y AT.
- Visualizar la topología de sus redes RF.
- Usar una variedad de herramientas.
- Actualizar el firmware de radio.
- Se puede implementar en múltiples plataformas.









**Figura 14-2:** Entorno XCTU para Microsoft Windows  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 2.2.11.8 Tipos de antenas

Las particularidades de una antena afectan no solo el alcance sino también su precio. La Tabla 9-2 muestra los tipos de antena disponibles en los módulos XBee.

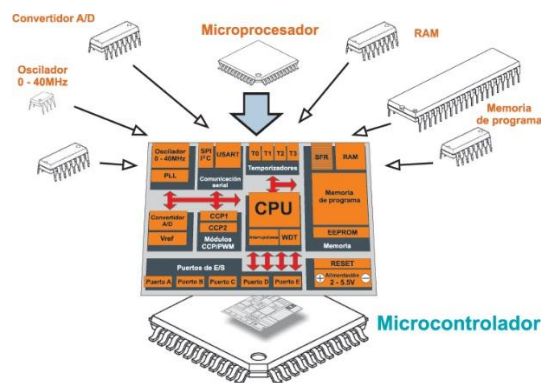
**Tabla 9-2:** Módulo XBee con diferentes antenas

TIPO	IMAGEN	MODELO	NOTA
Chip		XB24-ACI-001	Es un pequeño chip montado en el módulo que actúa como antena.
Alambre		XSC S3B	Es un pequeño cable de 1/4 de onda aproximadamente de 80 mm soldado a la PCB.
Látigo		XBP24BZ7WIT-004	Es un cable solido pero flexible de aproximadamente 25 mm que sobresale de la PCB.
PCB		XBP24BZ7PIT-004	Están formadas directamente en el módulo con huellas conductivas. Las antenas de PCB funcionan igual que las antenas de alambre.
U.FL		XBP24BZ7UIT-004	Es un pequeño conector para conectar su propia antena externa, estas pueden ser una antena dipolo con conexión U.FL o un cable adaptador U.FL a RP-SMA.
RP-SMA		XBP24BZ7SIT-004	Están equipados con un conector hembra RP-SMA, y la antena es un conector macho RP-SMA.

Fuente: (Digi, 2018)

### 2.2.12 Microcontroladores

“Un microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida” (Reyes. 2008, p.17).



**Figura 15-2:** Partes que Integran un Microcontrolador.  
Fuente: (Verle, 2009)

En la Figura 15-2 se consigue observar la estructura interna de un microcontrolador, y como se puede apreciar está compuesto de varios bloques funcionales, de tal forma que cumplen una tarea determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como único propósito atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador simplemente sirve para gobernar la tarea asignada por el usuario.

### 2.2.13 Tarjeta Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino interactúan con el mundo mediante la recepción de entradas de sensores electrónicos, luces, motores y lo convierten en una salida. Puede decirle a su tablero qué hacer al enviar un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero (Arduino, 2018). Para hacerlo, utiliza un lenguaje de programación de código abierto para microcontroladores y el software Arduino o IDE, el cual escribe y carga los códigos de la computadora a la placa física.

#### 2.2.13.1 Descripción del hardware de Arduino

Hay varias placas Arduino que pueden usarse para diferentes propósitos, pero la mayoría de los Arduino tienen estos componentes en común:

- Chip microcontrolador fabricado por Atmel Corporation que de acuerdo con la versión de la placa podría ser de la familia ATmega168, ATmega328, Atmega1280.
- Tiene 14 pines de entradas y salidas digitales. De los cuales 6 de ellos se pueden usar también como salidas PWM (modulación por ancho de pulso). Además 6 pines analógicos de entrada que también se pueden configurar como digitales.
- Conexiones de potencia (a 3,3V o 5V) para alimentar al resto de componentes, y tierras que permite cerrar el circuito.
- Botón de RESET para la placa y un pin AREF que sirve para establecer una tensión diferente a 5v en los pines digitales.
- Conector RS232 a USB para conectar el ordenador a la placa física y cargar el código. Además, puede enviar y recibir datos durante la ejecución del código y también es una entrada de alimentación.

#### *2.2.13.2 Descripción del software IDE*

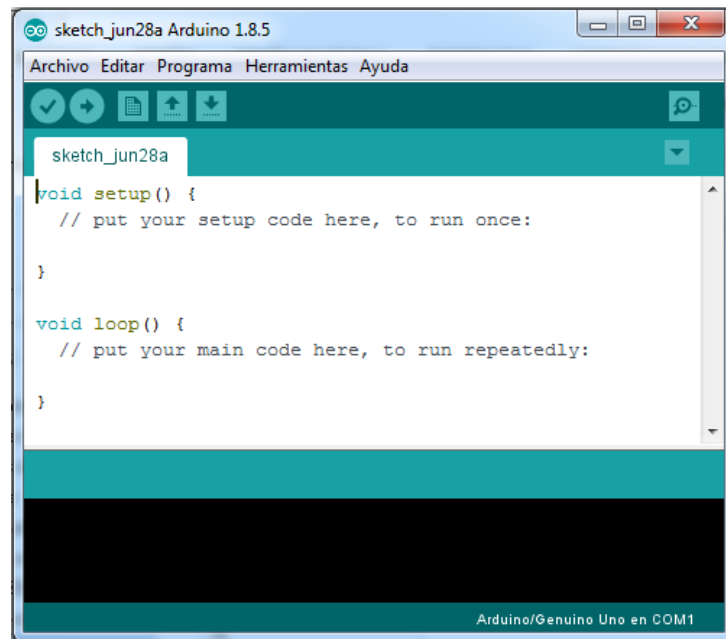
El proyecto Arduino proporciona el entorno de desarrollo integrado Arduino (IDE) que es una aplicación multiplataforma escrita en Java. Se originó a partir del IDE para el proyecto de lenguaje de programación Processing y el proyecto Wiring. Incluye un editor de texto con características tales como resaltado de sintaxis, correlación de paréntesis, sangría automática, y pone a disposición un mecanismo simple de un clic para compilar y cargar programas en el hardware de Arduino. Un programa escrito con el IDE para usar en Arduino se llama Boceto.

Arduino IDE es compatible con los lenguajes de programación C y C ++, utiliza reglas específicas de organización de códigos. Además, suministra una biblioteca de software llamada Wiring, que aporta varios procedimientos comunes de entrada y salida. Un boceto propio de Arduino consta de dos funciones que se compilan y vinculan con un programa stub main en un programa cíclico ejecutable:

- Setup (): Función que se ejecuta una vez al inicio de un programa y que puede inicializar la configuración.
- Loop (): Función que es llamada repetidamente hasta que la placa se apague.



Después de compilar y vincular con la cadena de herramientas GNU, Arduino IDE ocupa el programa Avrdude para convertir el código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se carga en la placa Arduino mediante el firmware de la placa.



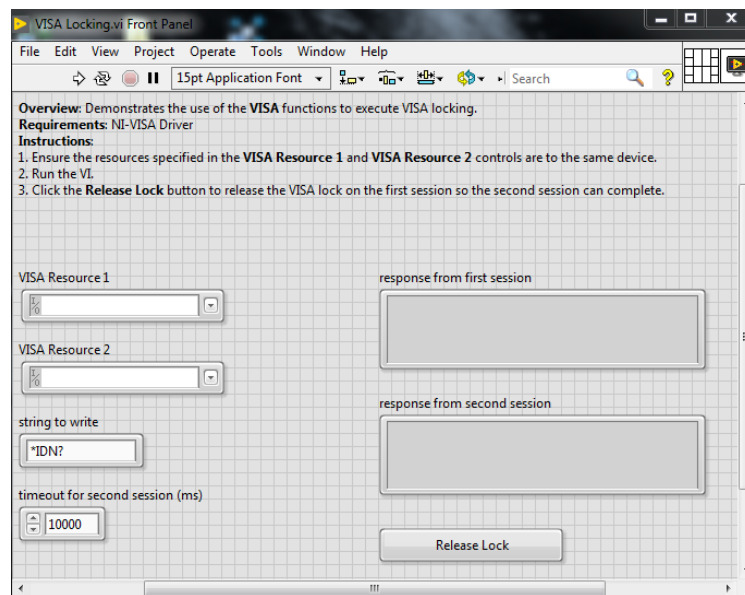
**Figura 16-2:** Entorno Arduino para Microsoft Windows  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### **2.2.14 LabVIEW**

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica en el cual se visualiza cada aspecto de una aplicación, que incluye configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta interfaz hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier empresa, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas (National Instruments, 2018).

Dentro de LabVIEW hay diferentes elementos y conceptos que son clave para el formato y operación del entorno. Éstas incluyen:

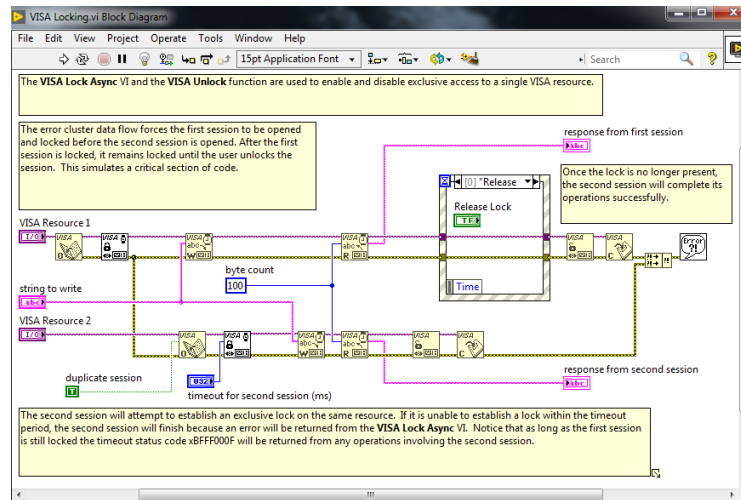
- **Entorno:** Es el administrador de LabVIEW VI (explorador de proyectos), las herramientas de programación, funciones de depuración, plantillas y ejemplos. Además de una interfaz sencilla para los controladores de hardware.
- **Vis:** Es un instrumento virtual que permite construir una interfaz de usuario y contiene el código de programación.
- **Programación de LabVIEW G:** Es el lenguaje de programación gráfica donde los algoritmos funcionales se construyen con técnicas de arrastrar y soltar.
- **Flujo de datos:** Determina el orden de ejecución del programa.



**Figura 17-2:** Panel Frontal  
Realizado por:: HURTADO, Sandra, 2018

VISA (Virtual Instrument Software Architecture) es una API de comunicación estándar, el cual permite controlar la comunicación con algunos buses de instrumentación, incluidos GPIB, USB, serie y Ethernet. VISA proporciona un conjunto de comandos sencillos, y elimina la necesidad de aprender protocolos de comunicación de bajo nivel para múltiples tipos de bus.

En la Figura 18-2 se puede observar el diagrama de bloques que contiene las funciones y estructuras agregadas dentro del diagrama, y los resultados pasan a través de cables de distintos colores y apariencia que dependen del tipo de dato que se maneje.



**Figura 18-2: Diagramas de Bloques**  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

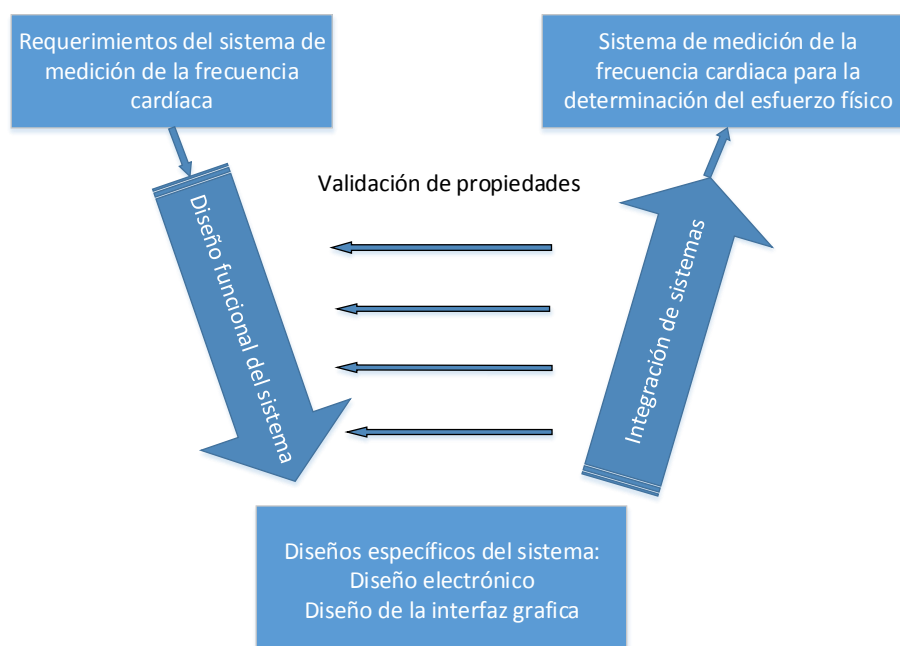
## CAPÍTULO III

### 3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo y diseño de la investigación

El presente proyecto se caracteriza por ser una investigación de tipo descriptiva, se registra, analiza e interpreta variables basadas en la frecuencia cardíaca de los trabajadores de la línea de faenamiento de bovinos del Camal Municipal del Cantón Riobamba, y con un diseño no experimental debido a que únicamente se realiza la observación de la variable sin interferir en su desarrollo, para finalmente valorar el esfuerzo físico realizado en los puestos de trabajo. La comprobación de la hipótesis se realizará mediante la aplicación del método estadístico H de Kruskal – Wallis con un nivel de significancia menor 0.05 y con la ayuda del Software estadístico SPSS V25.

Se ha basado en la metodología del modelo en V para definir los procedimientos para el desarrollo del sistema de medición de la frecuencia cardíaca.



**Figura 1-3:** Modelo en V para el sistema de medición  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

La descripción de los pasos de la metodología en V se muestra a continuación:

- Requerimientos: se determinará los requerimientos para la implementación de los dispositivos y se cumplirá con la condición de ser un sensor no invasivo que permita el desarrollo normal de las actividades laborales. La transmisión de los datos será de manera inalámbrica, y finalmente se deberá desarrollar una interfaz para el registro de la variable medida y posterior valoración del esfuerzo físico.
- Diseño general del sistema: se busca definir la estructura general del sistema, los elementos empleados y la funcionalidad de los mismos durante la medición de la frecuencia cardíaca.
- Diseño específico: Se divide en dos diseños:  
El primero es el diseño electrónico, el cual determina la duración de la fuente de alimentación de los nodos sensor que será al menos de cuatro horas que es el tiempo en el cual se realiza el faenamiento bovino, la topología de la WSN y las tramas de datos a ser transmitidas y recibidas. Se diseñará una placa electrónica para acoplar los módulos de comunicación con el microcontrolador.  
El segundo es el diseño de la interfaz gráfica que sirve para el registro de los bpm y posteriormente la realización de cálculos y valoraciones y así poder determinar el esfuerzo físico realizado.
- Integración de los sistemas: Se integrará el sistema electrónico y la interfaz gráfica, para seguidamente efectuar pruebas de campo.
- Validación de propiedades: Una vez realizada las pruebas de campo se podrá demostrar el funcionamiento y se realizará correcciones en caso de que sea necesario. Se demostrará que el sistema de medición de la frecuencia cardíaca cumpla con los objetivos planteados.
- Producto: El resultado final es el sistema de medición de la frecuencia cardíaca para la determinación del esfuerzo físico.

### ***3.1.1 Análisis de requerimientos del sistema de medición de la FC***

En la primera etapa del modelo en V se definen los requerimientos que se tiene en el desarrollo del sistema de medición de la frecuencia cardíaca. A continuación se

detallan los requerimientos por parte de los usuarios, sistema de medición, y requerimiento de diseño:

#### 3.1.1.1 *Requerimientos de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino*

La Tabla 1-3 muestra los requerimientos con más alta prioridad por parte de los trabajadores.

**Tabla 1-3:** Requerimiento de los trabajadores de la línea de faenamiento bovino

N°	Requerimientos
R1	El dispositivo debe ser colocado en un lugar donde no incomode durante la realización de las actividades laborales
R2	Batería recargable con un tiempo de funcionamiento prolongado
R3	El dispositivo debe tolerar agentes externos, especialmente agua

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 3.1.1.2 *Requerimiento del sistema de medición de la FC*

Estos requerimientos se definirán según las características del sistema, donde se determinan las limitaciones y tareas a realizar.

**Tabla 2-3:** Requerimiento del sistema de medición de la FC

N°	Requerimiento del Sistema de Medición
<b>Fuente de alimentación</b>	
S1	Necesita una batería con capacidad mayor a 223 mA.
<b>Rendimiento</b>	
S2	Lectura del pulso mediante un sensor basado en un fotopleximógrafo, que disponga de filtros y amplificadores
S3	Tasa de transmisión del sensor entre 1Mbps a 4Mbps
S4	La placa debe disponer de lectura de entrada analógica, disponibilidad de pines para alimentación y comunicación con los módulos XBee
S5	Capacidad de trabajar en configuración de tipo estrella
S6	Alcance superior a 30 metros
<b>Limitaciones físicas</b>	
S7	El tamaño de la placa debe ser igual o semejante al módulo de comunicación XBee

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 3.1.1.3 *Requerimiento de diseño del sistema de medición de la FC*

Los requerimientos de diseño engloban los elementos utilizados para construcción del sistema de medición, los dispositivos utilizados deben estar en concordancia con las

preguntas directrices formuladas y a los objetivos planteados. Los requerimientos de diseño se muestran en la Tabla 3-3.

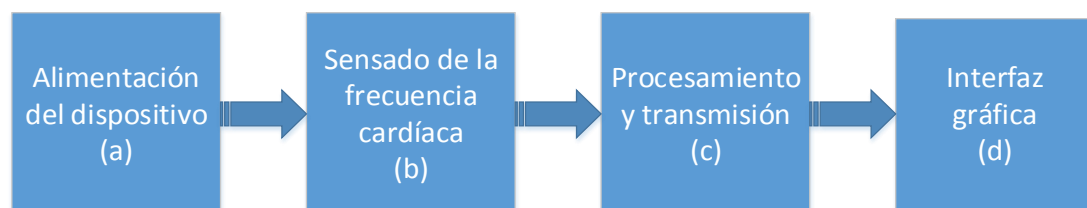
**Tabla 3-3:** Requerimiento de diseño del sistema de medición de la FC

Nº	Requerimiento de diseño
<b>Requerimientos lógicos (programas)</b>	
T1	Programa que permita la adquisición de datos, el procesamiento, análisis y valoración de los mismos de manera eficiente y rápida
T2	Programas de código abierto y programas de distribución libre abarataría costos en la implementación del sistema
<b>Requerimiento Arquitectónico</b>	
T3	Elegir la manera más apropiada para colocar el sensor de pulso
T4	Hallar la manera para impermeabilizar el dispositivo de medición
T5	Buscar el lugar donde colocar la placa y batería del sensor
<b>Requerimiento del Hardware</b>	
T6	Contar con entradas/salidas análogas y pines de comunicación
T7	Módulo de comunicación con antena para un mejor alcance
T8	Utilización de una fuente externa igual o mayor a 5VDC
T9	Memoria RAM de la computadora de 8GB
<b>Requerimiento Software</b>	
T10	Lenguaje de programación de código abierto
T11	Utilización de librerías que facilitaran el procesamiento

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.1.2 Diagrama funcional del sistema de medición de la FC

En la Figura 2-3 muestra el diagrama funcional del sistema de medición de la frecuencia cardíaca.



**Figura 2-3:** Diagrama funcional del sistema de medición de la FC

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Descripción del diagrama funcional

- a) La fuente de alimentación para el sensor, la tarjeta Arduino, módulo XBee y un Led es una batería recargable.
- b) El sensado de la frecuencia cardíaca usa un sensor de pulso que ayuda a determinar el ritmo Cardíaco de manera no invasiva.

- c) La tarjeta Arduino procesa las señales sensadas y determina los latidos por minutos del individuo, para seguidamente transmitir la información a través de un módulo de comunicación inalámbrico XBee.
- d) Los datos son receptados por un módulo de comunicación XBee llamado coordinador, el software lee, visualiza, procesa y emite un informe con los resultados obtenidos.

### ***3.1.3 Descripción general del Sistema de medición de la FC.***

El sistema de medición está basado en una Wireless Sensor Network, los nodos sensor de la red están formados por una tarjeta Arduino acoplada con un módulo de comunicación XBee, un sensor de frecuencia cardíaca que se coloca en el lóbulo de la oreja y una batería recargable que permite el uso continuo durante varias horas, este conjunto de elementos se ubicaran en la espalda dentro de una mochila plástica. El nodo coordinador estará formado de igual manera por una tarjeta Arduino y un módulo XBee

Los dispositivos mencionados serán encargados de sensar, hallar el pulso, transmitir o receptar la información, para posteriormente registrar, analiza y visualiza mediante un software desarrollado el cual realiza cálculos de los índices Cardíacos para determinar la carga física del trabajo y valorar el nivel esfuerzo físico realizado por el trabajador.

El sistema de medición de la frecuencia cardíaca desarrollado, está enfocado principalmente en los trabajadores de la línea de bovinos del Camal Municipal de Riobamba, pero se podría usar en diferentes industrias o empresas con similares características.

### ***3.1.4 Limitantes del sistema de medición***

A continuación se describen las limitaciones del sistema tanto en software como en hardware. En futuras investigaciones se podrá dar soluciones a los presentes inconvenientes en el desarrollo del sistema.



- Tamaño de la batería.

Para reducir el tamaño del dispositivo de sensado se debe usar una batería de medidas reducidas con características equivalentes a lo propuesto.

- Recarga de la batería.

Para recargar la batería se debe conectar a una fuente de poder externa,

- Tamaño de la placa

La placa al estar sobre la tarjeta Arduino UNO para alimentar al módulo de comunicación tiene dimensiones similares al Arduino.

- Instalación de Software

Para ejecutar el archivo ejecutable del programa debe de tener instalado el software LabVIEW.

### 3.2 Elección del Hardware y Software

#### 3.2.1 Elección del sensor de pulso cardíaco

En la Tabla 4-3 muestra los tres tipos de sensores que pueden cubrir el requerimiento.

**Tabla 4-3:** Elección del sensor de pulso del sistema de medición de la FC

Ítem	Nombre del sensor de Pulso	Requerimiento			Valoración
		R1	S2	S3	
1	Polar F6		x	x	2
2	AD8232		x	x	2
3	Amped SEN 11574	x	x	x	3

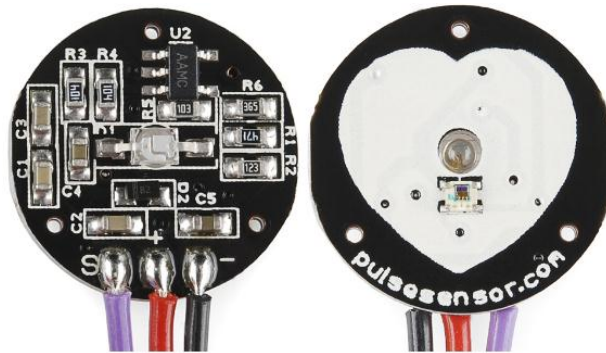
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

De la comparación se puede concluir que la mejor elección es el tercer ítem, el cual cumple con todos los requerimientos.

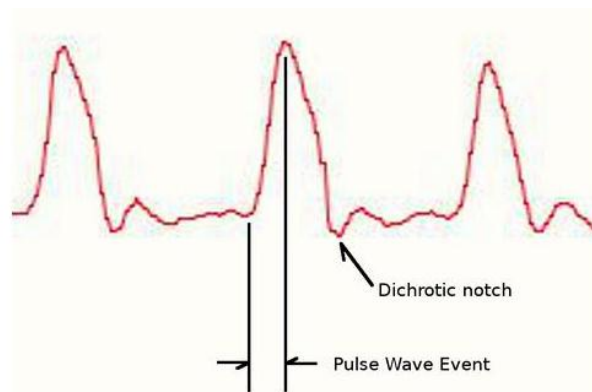
#### Sensor de Pulso Amped o SEN 11574

El sensor se caracteriza por ser esencialmente un fotoplethysmógrafo, que es un dispositivo médico conocido para la monitorización de la frecuencia cardíaca de forma no invasiva. La señal de pulso cardíaco que sale de un fotoplethysmógrafo es una fluctuación en el voltaje analógico, y tiene una forma de onda predecible (World

Famous Electronics, 2018). La forma de la onda de pulso se llama fotopletimograma o PPG y es generada al detectar el cambio en la absorción de la luz o la reflexión por la sangre a medida que la onda de pulso viaja por las arterias. A continuación, en la Figura 4-3 se aprecia la señal proveniente del sensor.

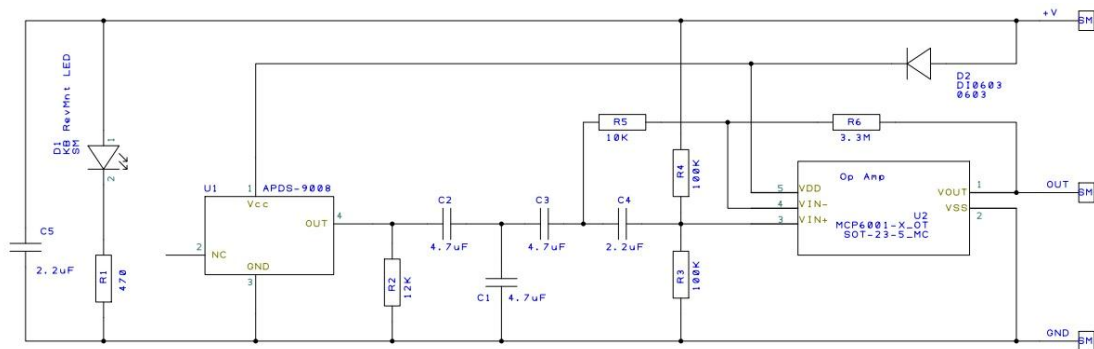


**Figura 3-3:** Sensor de Pulso Amped  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



**Figura 4-3:** Señal de Salida Esperada del Sensor Amped.  
Fuente: (World Famous Electronics, 2018)

El sensor de pulso está compuesto por varios componentes como: un led de color verde brillante, un sensor de luz ambiente y filtros RC los cuales están calibrados para hacer más definida la señal pero débil que amplifica el OpAmp antes de la salida. En la Figura 5-3 se muestra el esquemático del sensor.



**Figura 5-3:** Circuito del Sensor de Pulso Amped  
Fuente: (SparkFun Electronics, 2017)

En la Tabla 5-3 se muestra un resumen de las características técnicas con que cuenta el sensor de pulso.

**Tabla 5-3:** Características de sensor de pulso Amped

Característica	Valor
<b>Diámetro</b>	16 [mm]
<b>Espesor</b>	3 [mm]
<b>Cable</b>	609 [mm]
<b>Tensión</b>	3 [v] - 5 [v]
<b>Corriente</b>	20 [mA] -5 [v]

Fuente: Adaptación de (World Famous Electronics, 2018)

### 3.2.2 Elección de la tarjeta de procesamiento

El Arduino UNO R3 cumple con todos los requerimientos detallados anteriormente, posee seis entradas análogas, catorce pines de entrada o salida, la salida 0 y 1 son usadas para receptar y transmitir datos por el puerto serial, Arduino es de software y hardware libre por eso se puede hallar una gran variedad de librerías compatibles y de gran ayuda para los proyectos, adicionalmente se puede decir que es de programación fácil.



**Figura 6-3:** Tarjeta Arduino UNO R3  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.2.3 Elección de módulos para la WSN

La información de la frecuencia cardíaca se enviara de manera inalámbrica, para evitar interferir en el desarrollo normal de las actividades realizadas durante la jornada laboral, bajo el protocolo de comunicación Zigbee por su flexibilidad y alcance; la transmisión se realizara desde cada puesto de trabajo y la recepción se hará desde las oficinas administrativas donde se instalara el sistema de medición, para esto se eligió los módulos XBee S2C con las características resumidas en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Características del módulo XBee S2C

Características	Xbee ZB (S2C) TH
Transmisión	3.3V @ 33mA
Recepción	3,3V @ 28mA
Voltaje de trabajo	2,7-3,6 V
Velocidad máxima de datos	250kbps
Rango en interiores	60m
Rango en exteriores	1200m
Encriptación	128 bit
Set de comandos	AT o API

**Realizado por:** HURTADO, Sandra, 2018

### 3.2.4 Elección de la topología de la WSN

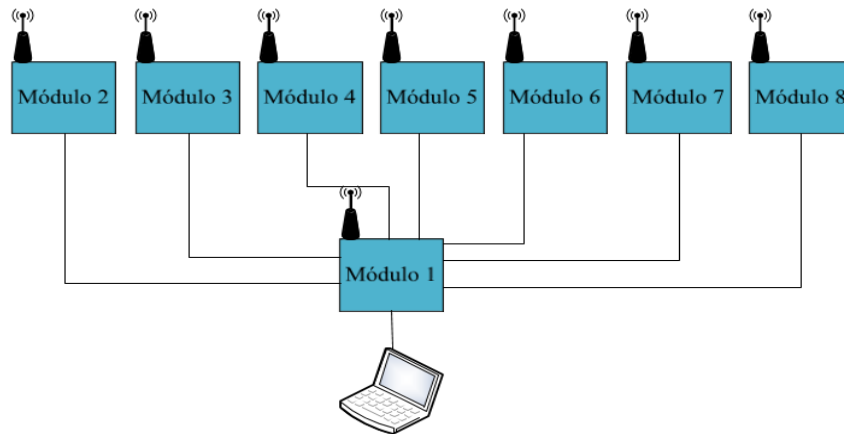
La topología a ser implementada en el sistema de medición de la frecuencia cardíaca será de tipo estrella; es decir la red estará formada por un nodo central o nodo coordinador y siete nodos sensores o dispositivos finales como se describe en la Tabla 7-3

**Tabla 7-3:** Asignación de dispositivos XBee S2C

Dispositivo	Función
Módulo 1	Coordinador
Módulo 2	Dispositivo final 1
Módulo 3	Dispositivo final 2
Módulo 4	Dispositivo final 3
Módulo 5	Dispositivo final 4
Módulo 6	Dispositivo final 5
Módulo 7	Dispositivo final 6
Módulo 8	Dispositivo final 7

**Realizado por:** HURTADO, Sandra, 2018

. En la Figura 7-3 se observa el esquema general de la red.



**Figura 7-3:** Esquema general de la red  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 3.2.4.1 Configuración de los módulos de comunicación Xbee

Los módulos Xbee S2C ZB soportan configuraciones mediante modo transparente y modo API (Application Programming Interface). En modo transparente los módulos funcionan similar a una línea serie; es decir todos los datos recibidos se ponen en cola para ser transmitidos mediante radiofrecuencia. Mientras que en modo API basado en tramas amplía el nivel al de una aplicación host, en este modo los datos que se transmiten o reciben son contenidos en tramas que definen las operaciones internas del módulo.

La Tabla 8-3 documenta la configuración de los módulos Xbee S2C.

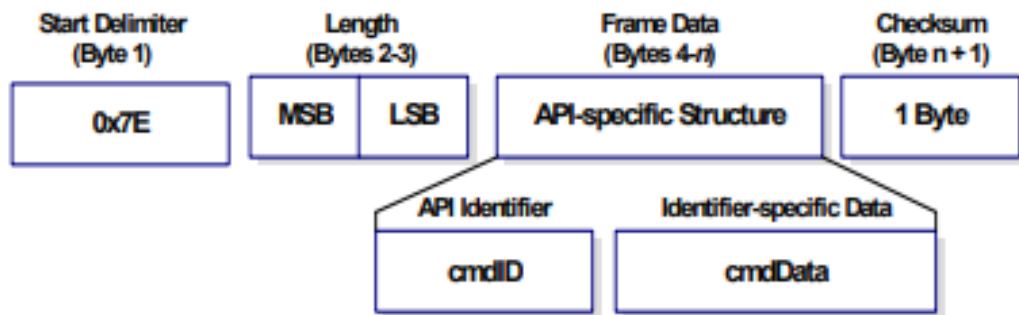
**Tabla 8-3:** Resumen de configuración de parámetros para los módulos XBee S2C

Descripción	Parámetro	Módulo 1	Módulos del 2 al 8
Identificador	ID	2018	2018
Función (coordinador/dispositivo final)	CE	1	0
Canal de Verificación	JV	0	1
Dirección de destino Alto	DH	0	0
Dirección de destino Bajo	DL	FF	0
Identificador del nodo	NI	Coordinador	Módulo 1... ...Módulo 8
Modo de operación	AP	2	2
Velocidad de transmisión	BD	115200[7] bps	115200[7] bps

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

El formato de trama elegido para trabajar es en modo API2, el modo de operación tiene tramas con un orden definido con escape de caracteres que son enviadas o recibidas mediante el puerto serial del módulo.

La estructura general de la trama API se muestra en la Figura 8-3.



**Figura 8-3:** Estructura general de la trama en el modo de operación API  
Fuente: (Digi, 2018)

(Digi, 2018) Describe los campos que conforman la trama como:

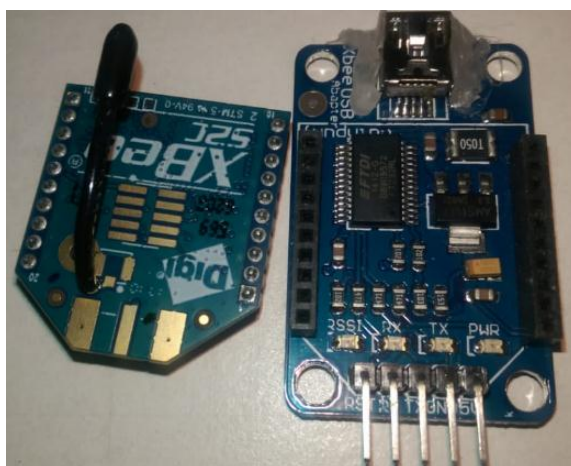
**Delimitador de inicio (Start Delimiter):** indica el inicio de la trama, es una secuencia formada por 8 bits, la secuencia es 0x7E. Los datos recibidos antes de esta secuencia son descartados.

**Longitud (Length):** es el número de bytes existentes dentro del campo de datos de la trama. El campo contiene dos bytes el primero es el byte más significativo y el segundo el menos significativo.

**Estructura de datos (Frame Data):** el campo contiene la estructura específica API.

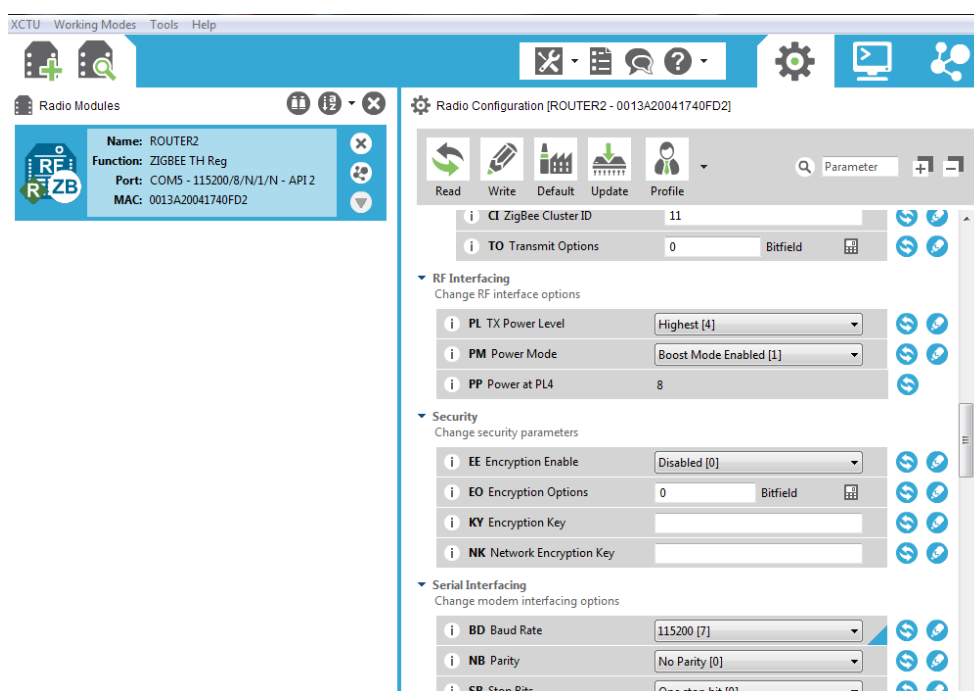
**Suma de verificación (Check Sum):** este campo conformado por un byte permite verificar la integridad de los datos al módulo receptor.

Para efectuar la configuración de los módulos XBee se usó un XBee Usb Adapter que permite conectar directamente los dispositivos XBee a un puerto USB y mediante la utilización del Software X-CTU se configuró los módulos con los parámetros antes definidos en la Tabla 8-3.



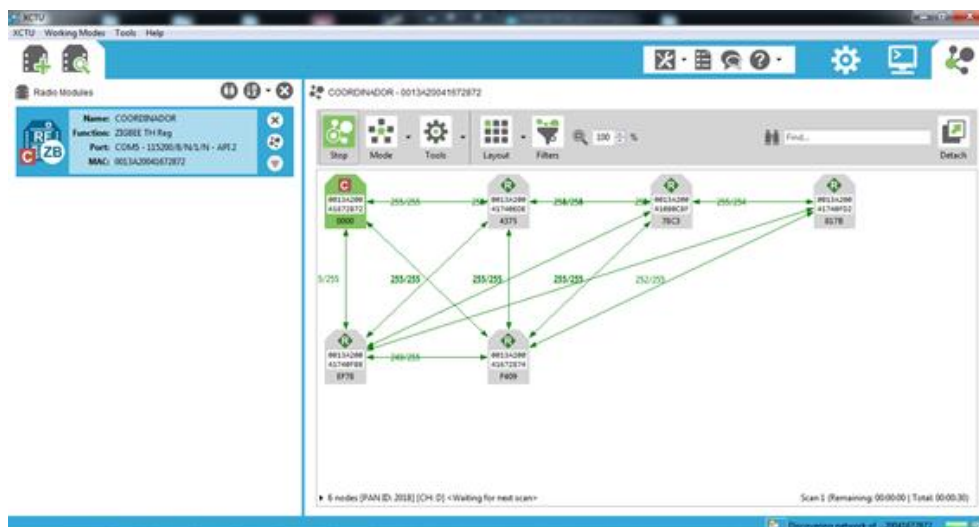
**Figura 9-3:** Módulo XBee y XBee Usb Adapter  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Una vez ingresado y guardado los parámetros los módulos quedaran listos para transmitir información. (Ver Figura 10-3).



**Figura 10-3:** Parámetros de configuración de los módulos XBee S2C  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Finalmente, se realiza la conexión de todos los módulos y se verifica que la comunicación entre ellos sea correcta. (Ver Figura 11-3).



**Figura 11-3:** Red inalámbrica de sensores implementada  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.2.5 Elección del software para la interfaz gráfica

El desarrollo de la aplicación se realiza en el Software LabVIEW debido a que en este software se puede desarrollar interfaces de usuarios personalizadas, además de ser una gran herramienta para procesamiento de señales, posee bloques de programación para la realización de cálculos estadísticos, entre otros.

### 3.2.6 Suministro de energía.

La batería adecuada para la alimentación del circuito debe cumplir con los requerimientos R2, S1 y T8 definidos, por lo tanto se eligió las bacterias recargables Li-ion 18650 VARLONPAN, cada batería tiene un voltaje de salida de 3.7VDC y 8800mAh según el fabricante como en la Figura 12-3 se ilustra dicha batería.



**Figura 12-3:** Batería Recargable Li-ion 18650  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



El voltaje suministrado de una pila completamente cargada es superior a 4V. Para energizar los dispositivos se usará dos pilas unidas en serie, como resultado se obtiene un voltaje superior a 8V.

### ***3.2.7 Elección del criterio de valoración de la carga física***

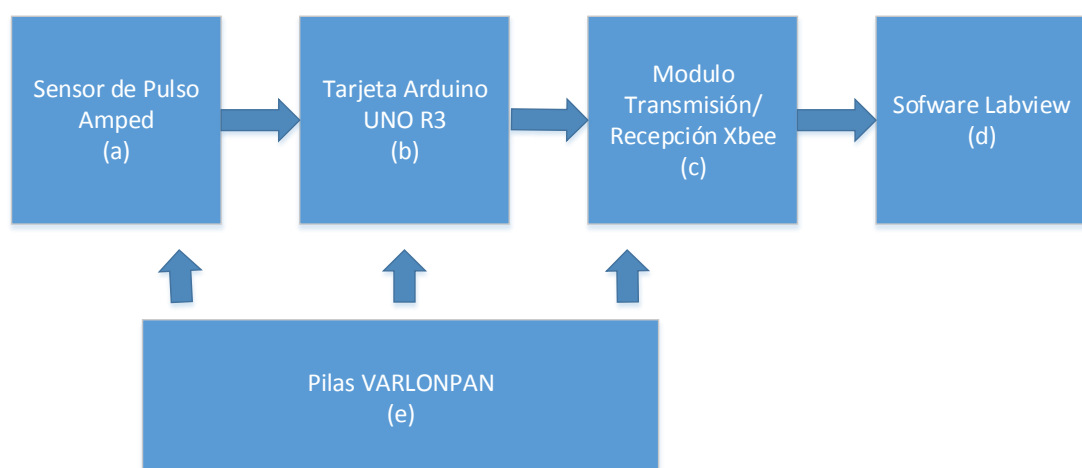
Una vez que se revisó en el Capítulo II los criterios de valoración de la carga física, se ha optado por el Criterio de Frimat, este criterio es específico para aplicar en fases cortas de trabajo cómo es el caso del Camal, las horas de trabajo de faenamiento varían, depende de factores como número de animales y el personal disponible.

## **3.3 Diseño electrónico del sistema de medición de la FC**

Es esta etapa de diseño se presenta el funcionamiento del sistema de monitoreo y enfatiza en las partes más importantes del desarrollo.

### ***3.3.1 Diagrama de bloques del sistema de medición de la FC***

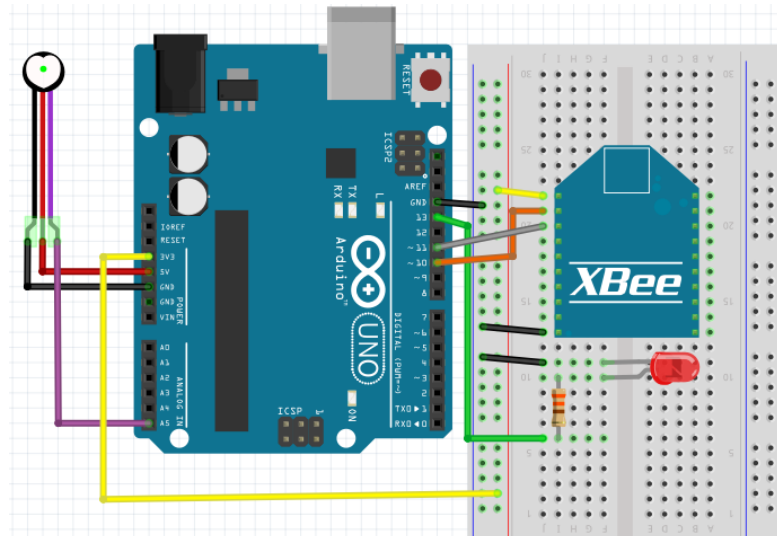
En la Figura 13-3 se muestra el funcionamiento del sistema por medio del diagrama de bloques del sistema con los elementos seleccionados y la estructura a seguir.



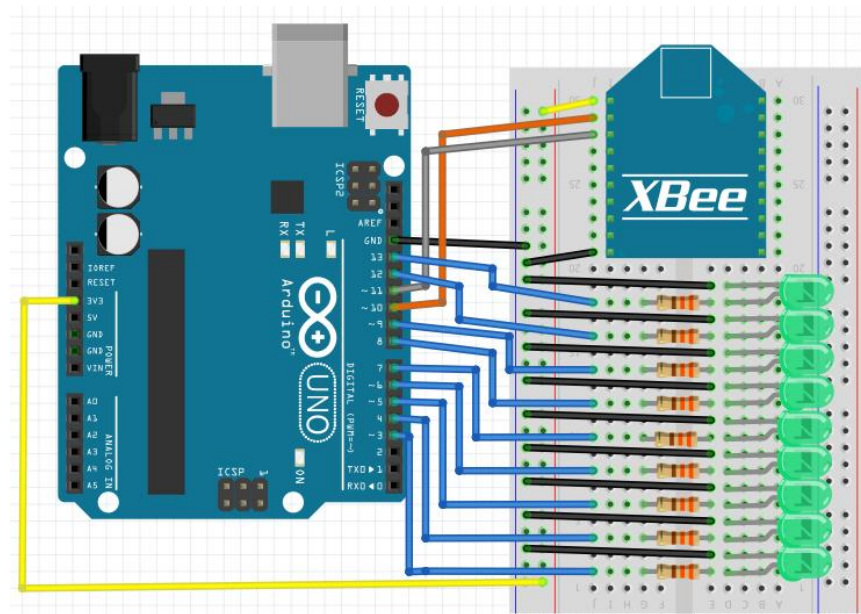
**Figura 13-3:** Diagrama de bloques del sistema de medición de la FC  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.3.2 Implementación del Hardware

Se diseñan dos placas electrónicas para el nodo sensor y coordinador con los elementos elegidos anteriormente. En la Figura 14-3 muestra las conexiones realizadas para la implementación del nodo sensor y en la Figura 15-3 las conexiones para el nodo coordinador.



**Figura 14-3:** Conexiones del nodo sensor  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



**Figura 15-3:** Conexiones del nodo coordinador  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.3.2.1 Duración de la batería

Para medir la capacidad real de la batería se usó el cargador BT-C3100 y se determinó que la capacidad es de 1348 mAh. Para determinar cuánto tiempo tardara en descargarse dicha batería se realizó el siguiente análisis.

Se sabe que la vida útil de una batería se calcula en base de la corriente nominal en miliamperios hora (mAh) de entrada de la batería y la corriente nominal del circuito. El cálculo para conocer el tiempo de descarga de la batería se puede derivar matemáticamente de la siguiente formula.

Tiempo de descarga

$$= \left( \frac{\text{Capacidad de la batería en miliamperes por hora}}{\text{Consumo eléctrico dispositivo}} \right) \times 0.70$$

Donde el factor de 0.7 permite tolerancias a factores externos que pueden afectar la vida útil de la batería.

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico dispositivos} &= \text{led} + \text{sensor Amped} + \text{XBEE} + \text{Arduino} \\ &= 37 \text{ mA} + 20 \text{ mA} + 120 \text{ mA} + 46 \text{ mA} \\ &= 223 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\text{tiempo de descarga} = \left( \frac{1348 \text{ mAh}}{223 \text{ mA}} \right) \times 0.70$$

$$\text{tiempo de descarga} = 6.05 \times 0.70$$

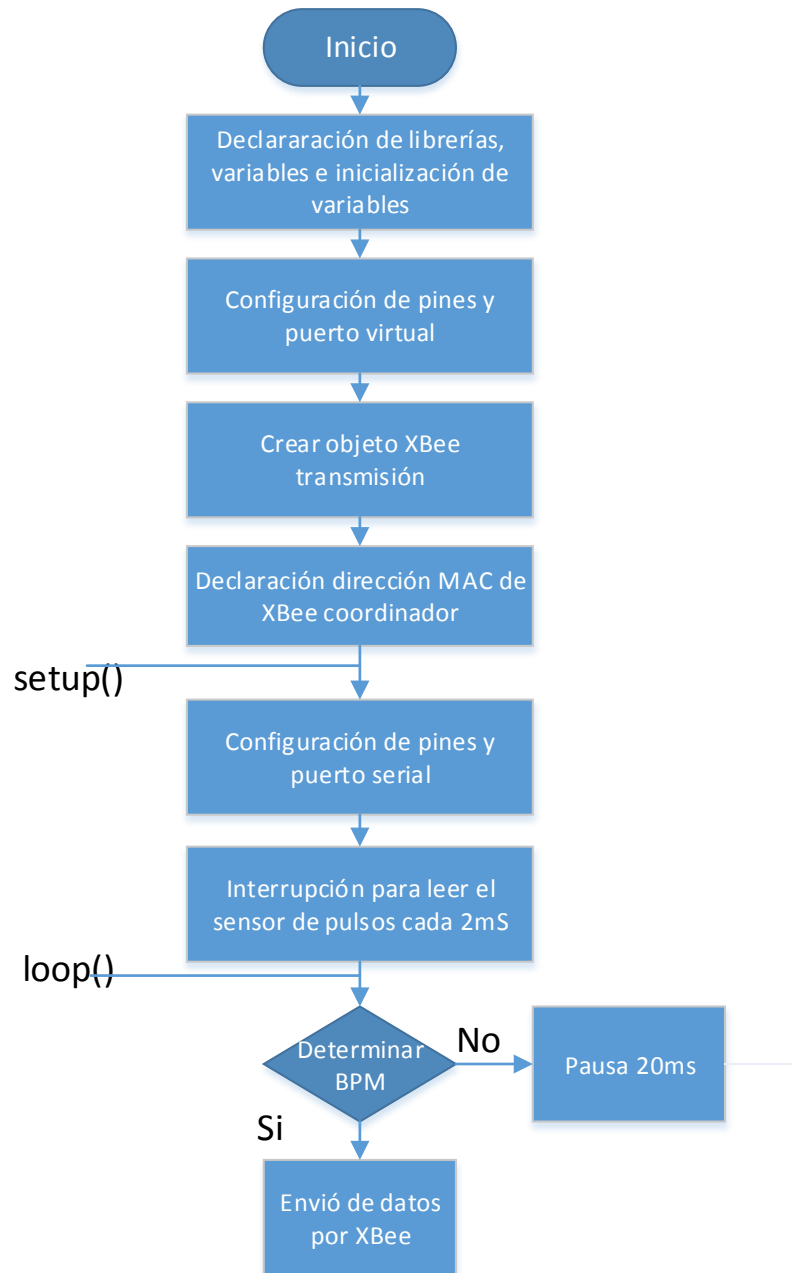
$$\text{tiempo de descarga} = 4.24$$

En conclusión, las baterías tardarán 4.24 horas en descargarse y después deberán ser recargadas.

### 3.3.3 Diagramas de flujo del sistema de medición de la FC

Una vez implementado los dispositivos el siguiente paso es diseñar el código fuente que cumplirá con los objetivos planteados.

### 3.3.3.1 Diagrama de flujo de la detección y transmisión del ritmo Cardíaco

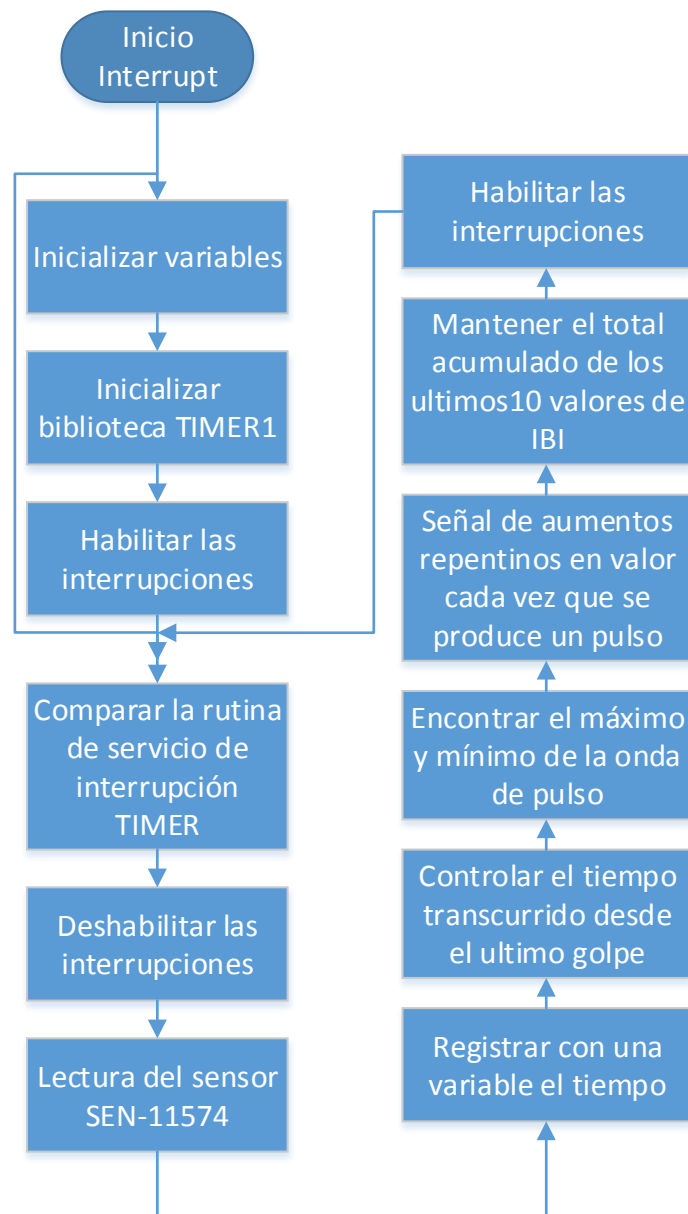


**Figura 16-3:** Diagrama de flujo de adquisición y envío de los BPM  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Cuando el dispositivo es energizado sensorará el ritmo Cardíaco mediante la cantidad de luz reflejada del tejido, estas variaciones son enviadas por el pin analógico 5 al Arduino UNO el mismo que internamente establece una frecuencia y tiempo de muestreo de 500Hz y 2ms (Milisegundos) respectivamente mediante el programa interrupt, para determinar las pulsaciones por minutos, seguidamente la información es

enviada en tramas API por los pines 10 y 11 al módulo XBee que se encarga de hacer la transmisión, en la Figura 16-3 se muestra el diagrama de flujo de lo mencionado en esta sección.

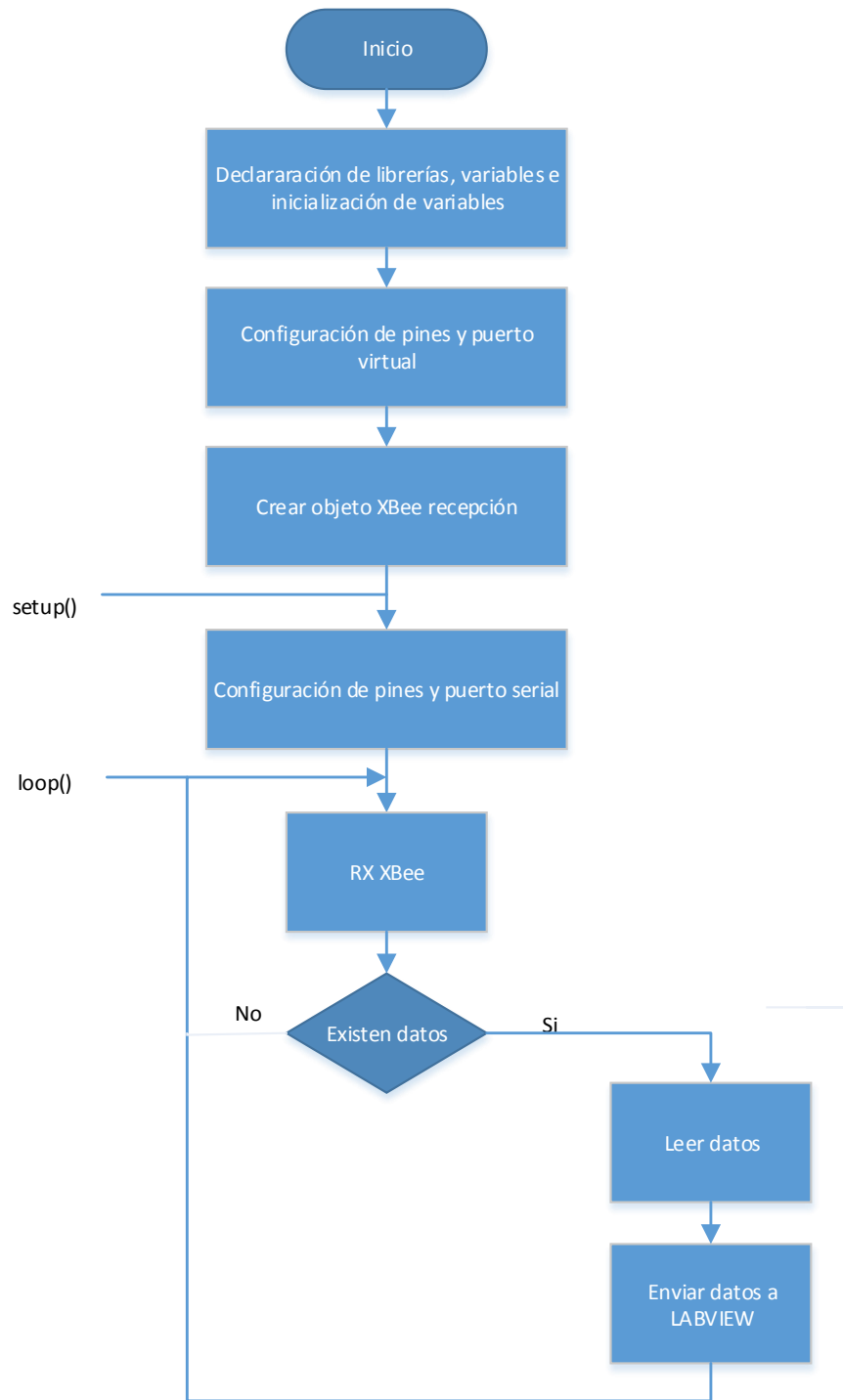
La Figura 17-3 muestra el diagrama de flujo del programa interrup, usado para la determinación de las pulsaciones por minuto.



**Figura 17-3:** Diagrama de flujo del programa interrup  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.3.3.2 Diagrama de flujo de la recepción de los datos

Para la recepción de la información se realiza a través del módulo XBee coordinador el mismo que envía los datos por los pines 10 y 11 al Arduino Uno. A continuación en la Figura 18-3 se muestra el diagrama de flujo.



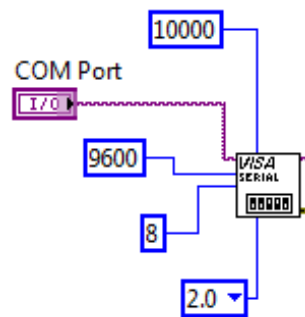
**Figura 18-3:** Diagrama de flujo de la recepción de los BPM  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.4 Interfaz desarrollada en LabVIEW

En esta sección se detalla las partes más importantes del desarrollo de la interfaz.

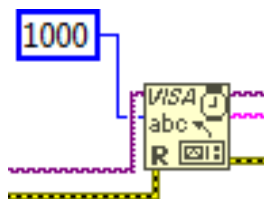
#### 3.4.1 Configuración de Arduino con LabVIEW

La conexión del Arduino y la computadora es mediante el protocolo de comunicación RS-232 del puerto serial, por tal razón se debe configurar el puerto con las mismas características con las que recibe la información del XBee coordinador y se realiza mediante el Visa Serial como se muestra en la Figura 19-3.



**Figura 19-3:** Configuración del puerto serial con LabVIEW  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Una vez realizada la configuración se utiliza el bloque VISA read (ver la Figura 20-3) para leer los datos entrantes del puerto COM elegido, en este caso los valores de las pulsaciones por minuto.

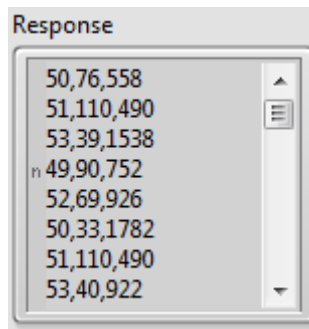


**Figura 20-3:** Bloque VISA Read  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Los datos entrantes son transmitidos en tramas como se muestra en la Figura 21-3.y constan de:

- Identificador del nodo sensor.
- Pulsaciones por minuto.

- Tiempo transcurrido entre cada pulso.



**Figura 21-3:** Trama de datos recibida  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.4.2 Descripción y desarrollo del programa

La aplicación consta de varios subprogramas que se encargaran de: crear fichas con los datos personales de los trabajadores, registrar las pulsaciones por minuto recibidas y ejecutar la valoración del esfuerzo físico mediante el cálculo de los criterios cardíacos. La pantalla principal o menú principal del sistema se muestra en la Figura 22-3.



**Figura 22-3:** Menú principal del sistema  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



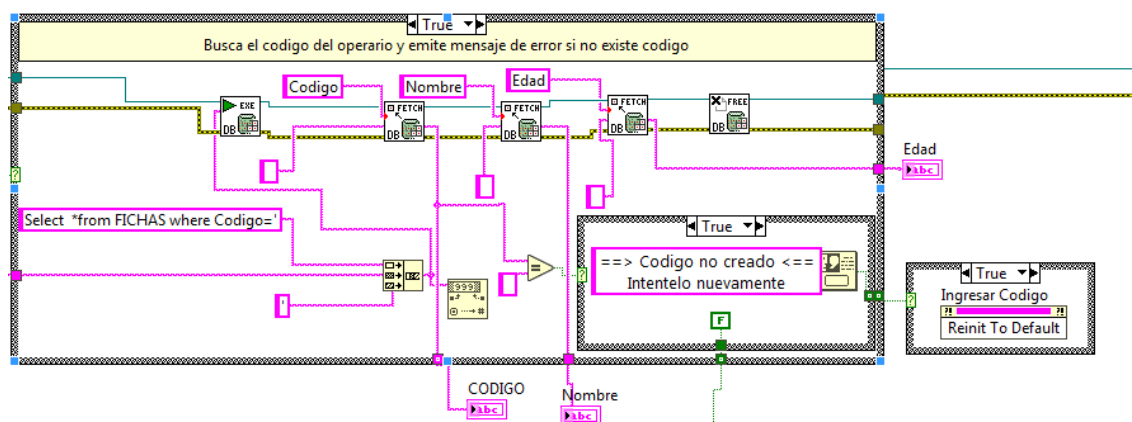
A continuación se describe la programación

### 3.4.2.1 Subprograma Crear ficha

COD	NOMBRE	EDAD	INSTITUCION	PUESTO	SEXO
011	SANTIAGO CARRERA	31	CAMAL	1	M
012	LUIS TORRES	55	CAMAL	3	M
013	LUIS CRIOLLO	27	CAMAL	3	M
014	LUIS CEPEDA	46	CAMAL	5	M
015	ELVIS CHINLLI	20	CAMAL	5	M
016	PATRICIO MINACARGA	50	CAMAL	4	M
017	DIEGO FUENMAYOR	38	CAMAL	5	M
018	SERGIO RISCOS	31	CAMAL	5	M

**Figura 23-3:** Subprograma Crear Ficha  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

El subprograma registra los datos personales del trabajador como: código, nombre, sexo, fecha de nacimiento, empresa y puesto de trabajo en una base de datos de Access. La información es insertada mediante el uso de un ciclo case que se muestra en la Figura 24-3.



**Figura 24-3:** Ciclo Case para ingresar datos personales a la ficha  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

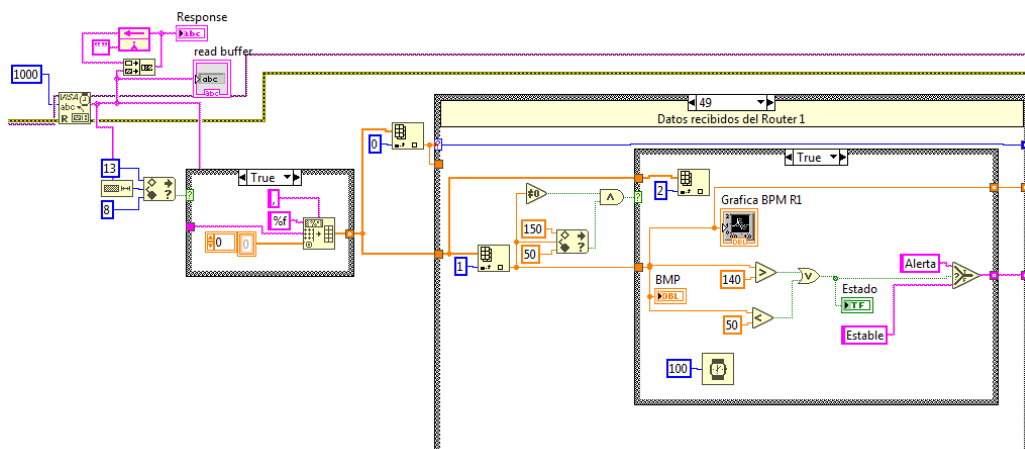
### 3.4.2.2 Subprograma de registro de FCR y FCM

El registro tanto de la FCR y FCM se realiza a través de dos subprogramas similares, el primero se encarga de realizar la recopilación de los bpm en reposo, es decir medidos cuando la persona se encuentra en estado de reposo ya sea sentado o de pie durante un periodo corto de tiempo medido en minutos, mientras que el segundo recopila la información cuando la persona realiza sus actividades laborales durante un periodo largo medido en horas.



**Figura 25-3:** Subprograma de Registro de FCR  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

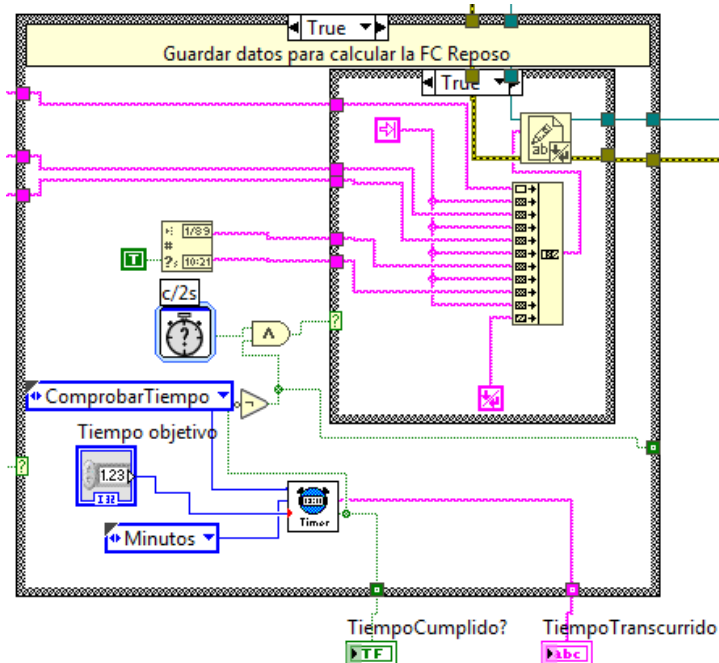
En ambos subprogramas se realiza la verificación de la longitud de la trama recibida del puerto serial y de los datos recibidos de cada nodo, mediante los ciclos case que se muestran en la Figura 26-3.



**Figura 26-3:** Ciclos Case para verificar datos de la trama recibida  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

El case de la derecha además verifica si los datos recibidos se encuentran dentro del rango de 60 y 149 bpm, lo que significa que la persona se encuentra en un estado estable, por el contrario, si los datos salen del rango, se abra producido una alarma, la persona estará en un estado de alerta y el color del indicador cambiara de verde a rojo.

Los datos verificados anteriormente son almacenados en un archivo de tipo texto generado automáticamente cuando el botón Guardar datos sea presionado. En la Figura 27-3 muestra el ciclo case que guarda los bpm cada treinta segundos, para el caso del cálculo de la FCR el ciclo durara 10 minutos, mientras que para el cálculo de la FCM el ciclo dura 4 horas, estos periodos de tiempo pueden ser modificados a conveniencia.



**Figura 27-3:** Ciclo Case almacenamiento de datos para el cálculo de FCR o FCM  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

En la Figura 28-3 se muestra el registro de la información el mismo que consta de: código del usuario, edad, estado (estable, alerta), bpm, fecha y hora.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
51	53	Estable	71	23/08/2018 14:33:22
52	42	Estable	87	23/08/2018 14:33:52
50	30	Estable	94	23/08/2018 14:34:22
49	39	Estable	108	23/08/2018 14:34:52
49	39	Estable	106	23/08/2018 14:35:22
0			0	23/08/2018 14:36:02
49	39	Estable	116	23/08/2018 14:36:32
54	27	Estable	80	23/08/2018 14:37:03
54	27	Estable	80	23/08/2018 14:37:34
49	39	Estable	114	23/08/2018 14:38:04
52	42	Estable	92	23/08/2018 14:38:34
49	39	Estable	93	23/08/2018 14:39:04
53	38	Estable	95	23/08/2018 14:39:34
55	48	Estable	108	23/08/2018 14:40:05
55	48	Estable	125	23/08/2018 14:40:35
52	42	Estable	90	23/08/2018 14:41:05
53	38	Estable	56	23/08/2018 14:41:35
52	42	Estable	93	23/08/2018 14:42:05
52	42	Estable	95	23/08/2018 14:42:35
49	39	Estable	112	23/08/2018 14:43:05
54	27	Estable	75	23/08/2018 14:43:35
54	27	Estable	111	23/08/2018 14:44:06
51	53	Estable	102	23/08/2018 14:44:38
54	27	Estable	109	23/08/2018 14:45:08
55	48	Estable	128	23/08/2018 14:45:38
55	48	Estable	86	23/08/2018 14:46:08
50	30	Estable	94	23/08/2018 14:46:38

**Figura 28-3:** Registro de las pulsaciones por minuto  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 3.4.2.3 Valoración del esfuerzo físico de los puestos de trabajo

En la Figura 29-3 se muestra el subprograma que efectuara la valoración del esfuerzo físico, para lo cual se necesita seguir los siguientes pasos que se detallan a continuación:

1. Ingresar el código del trabajador y presionar el botón *Buscar Código*
2. Seleccionar la ubicación del archivo de texto con los datos inscritos de la frecuencia cardíaca en reposo y presionar el botón *Calcular FCR* o a su vez ingresar de manera manual el valor de la FCR y presionar el botón *Ingresar FCR*.
3. Seleccionar la ubicación del archivo de texto con los datos de la frecuencia cardíaca media y pulsar el botón *Calcular índices*, automáticamente el programa calculará los valores de los índices cardíacos y valorará el esfuerzo físico en base a estos criterios.
4. Una vez obtenido la valoración se podrá generar el informe que es un archivo de Word el cual contendrá los índices calculados y la información personal del trabajador.

**ESTACIÓN 1:**

CODIGO  NOMBRE:  Ingresar Codigo

EDAD:  Años

---

**A) OPCION 1**  
 Selecccionar ubicacion de los datos para calcular FCR:

Frecuencia Cardiaca Reposo Calculada  BPM

**B) OPCION 2**  
 Ingresar FCR manualmente  
 BPM

---

Selecccionar Ubicacion de los datos para calcular indices cardiacos

Variables	Valor	Coeficiente de penosidad
FCM	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
DFC	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
FCMax	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
CCA	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
CCR	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Sumatoria de parametros

Valoracion del puesto de trabajo

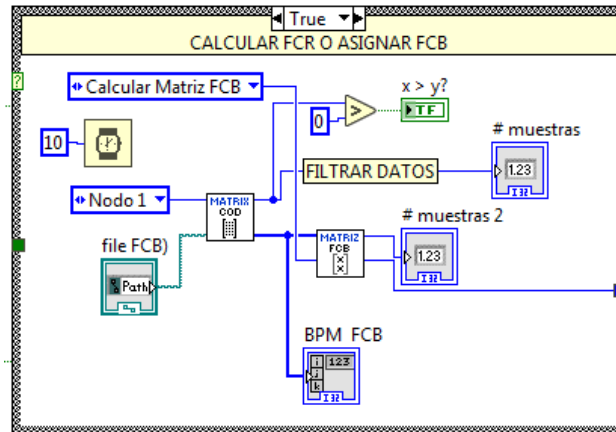
Esfuerzo fisico:

**Figura 29-3:** Subprograma para valorar el esfuerzo físico  
 Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### Calculo de la FCR.

Para calcular la frecuencia cardíaca de reposo se filtran los datos por cada nodo sensor mediante el SubVI *Matrix Cod* y seguidamente con el SubVI *Matriz FCB* que en primer lugar elimina los valores de cero en el caso de existir y envía la información a un vector ordenado de manera ascendente; es decir de menor a mayor para facilitar los cálculos, encuentra la moda de los valores y obtiene finalmente el valor de la FCR.

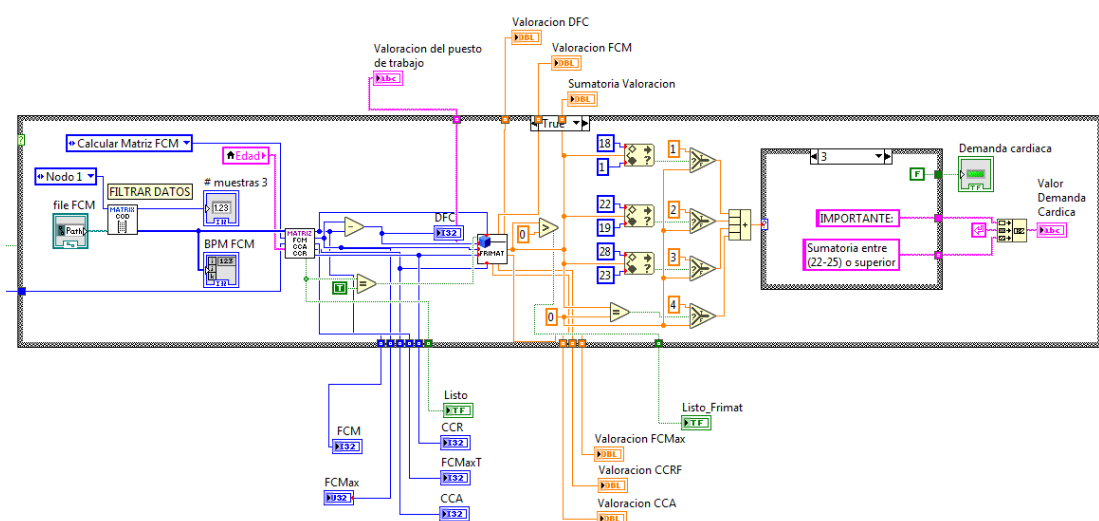
En la Figura 30-3 se muestra el ciclo case para el funcionamiento de acuerdo con lo descrito, el diagrama de bloques se adjunta en el ANEXO C.



**Figura 30-3:** Ciclo Case Calculo de la FCR  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### Calculo de los Índices Cardíacos.

Para encontrar el valor de la FCM al igual que para el cálculo de FCR se filtran los datos por cada nodo sensor mediante el SubVI *Matrix Cod* y seguidamente se usa el SubVI *Matriz FCM,CCA,CCR* que es el encargado de eliminar los valores de cero e ingresa los valores a un vector de manera ascendente, adicionalmente elimina los valores del vector que están fuera del rango entre los percentiles 5 y 95 como recomienda el criterio de Frimat, estos percentiles representan la frecuencia cardíaca mínima y la frecuencia cardíaca máxima respectivamente, con el resto de datos se calcula la media y se halla el valor de la FCM.



**Figura 31-3:** Subprograma para el cálculo de los índices cardíacos  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Con el valor de FCM y mediante operaciones aritméticas sencillas se calculan los valores de: incremento de la frecuencia cardíaca, la frecuencia cardíaca máxima, el costo Cardíaco absoluto y relativo. Una vez calculado los valores se asignarán un coeficiente de penosidad mediante el SubVI *Frimat* y luego serán sumados para determinar la valoración de la carga física del puesto de trabajo y el esfuerzo físico, lo dicho anteriormente se puede ver en la Figura 31-3.

La valoración del esfuerzo físico se basa a los índices cardíacos será como se muestra en la Tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Valoración del esfuerzo físico

Puntos	Valoración carga de trabajo	Valoración esfuerzo físico
25	Extremadamente dura	Importante
24	Muy dura	
22	Dura	
20	Penosa	Soportable
18	Soportable	
14	Ligera	Aceptable
12	Muy ligera	
≤10	Carga física mínima	

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

## Generación del informe

Con el valor de los índices cardíacos hallados, la valoración obtenida de la carga física y la valoración del esfuerzo físico se genera un informe en Word, la plantilla se muestra en la Figura 32-3. El código de bloques se muestra en el Anexo G.

REPORTE		
<b>INFORMACION PERSONAL</b>		
Nombre:		
Edad:		
Valor de la frecuencia cardiaca en reposo		
<b>FRECUENCIA</b>	<b>BPM</b>	
Frecuencia Cardiaca en reposo (FCR):		
Valores de los criterios cardiacos		
<b>VARIABLES</b>	<b>VALOR</b>	<b>COEFICIENTE DE PENOSIDAD</b>
Frecuencia Cardiaca Media (FCM):		
Incremento de la Frecuencia Cardiaca (DFC):		
Frecuencia Cardiaca Máxima (FCMax):		
Costo Cardiaco Absoluto (CCA):		
Costo Cardiaco Relativo (CCR):		
<b>TOTAL:</b>		
Valoración global del puesto de trabajo:		
Valoración del esfuerzo físico:		

**Figura 32-3:** Plantilla del informe  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 3.5 Población

El proceso de faenamiento bovino es realizado por diez trabajadores, mientras que la limpieza, lavado de las vísceras y demás actividades son realizadas por quince personas adicionales. En la Tabla 10-3 se muestran las actividades y el personal de la línea de faenamiento bovino.

**Tabla 10-3:** Personal de la línea de faenamiento bovino

Actividad	No. Personas
Aturdimiento y Anclaje	1
Desangrado, degüello y despresado de patas	2
Desollado	3
Retiro de cuero	2
Eviscerado	1
Sellado y división	1
Transporte de vísceras	3
Transporte de canal	2
Transporte de cabezas y patas	1
Lavado de vísceras	7
Inspector	1
Veterinario	1

**TOTAL 25**

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



### 3.6 Muestra

Para seleccionar a las personas que conformaran la muestra se basó en un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, debido a que en ciertas estaciones trabaja una sola persona mientras que en otras trabajan más personas que efectúan la misma actividad, por lo que se ha decidido tomar una muestra de siete personas.

### 3.7 Antecedentes de la empresa

El Camal Municipal de Riobamba se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba, en la parroquia Maldonado, en la Av. Leopoldo Freire (Vía a Chambo) como se puede ver en la Figura 1-3. Es una empresa pública sin fines de lucro; que realiza el desposte y faenamiento de ganado bovino, ovino y porcino, cuya misión es garantizar la calidad de los servicios antes mencionados y así obtener carne y vísceras higiénicamente procesadas y aptas para el consumo humano.








**Figura 33-3:** Ubicación del Camal Municipal de Riobamba  
Fuente: (Google Maps, 2014)

### 3.8 Descripción de los puestos de trabajo de la línea de faenamiento bovino

Las tareas realizadas durante el faenamiento por los trabajadores se describen a continuación en la Tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Tareas generales por puesto de trabajo

Puesto de Trabajo	Tareas generales por puesto	
ATURDIMIENTO Y ANCLAJE	La tarea de este puesto de trabajo se realiza una vez que ingreso el animal y mediante el uso de una pistola neumática el trabajador provoca la pérdida del conocimiento del bovino para luego sujetarla al gancho y elevarla mediante un tecla.	
DESANGRE, DEGÜELLO, Y DESPRESADO DE PATAS	Las tareas de este puesto son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Degüello de manera manual</li> <li>- Corte de la yugular, para el desangrado</li> <li>- Separación de extremidades anteriores y posteriores</li> </ul>	
ZONA DE DESOLLADO	Las tareas de este puesto son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desolló de las extremidades y parte frontal del animal</li> <li>- Enganchar la piel en el tecla para realizar el descuerado</li> </ul>	
EVISCERADO	Las tareas de este puesto son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cortar el esternón con una sierra eléctrica de vaivén</li> <li>- Realizar la extracción de las vísceras abdominales y torácicas mediante cuchillos.</li> </ul>	
SELLADO Y DIVISIÓN	Las tareas de este puesto son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar el corte a la canal mediante una sierra circular</li> <li>- Realizar el sellado.</li> </ul>	

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez implementado el sistema se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico y de la interfaz gráfica, para demostrar la funcionalidad del sistema de medición de la frecuencia cardíaca. Con autorización del Ing. William Uzuriaga Fiscalizar del Camal Municipal del Cantón Riobamba se realizó la recopilación de la información.

#### 4.1 Resultados de implementación de los nodos

##### 4.1.1 Pruebas a los nodos sensor

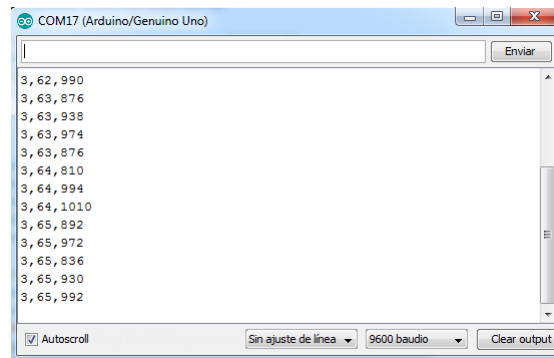
Debido a los continuos movimientos que se realiza durante el desarrollo del trabajo de los empleados de la línea de faenamiento bovino, es dificultoso medir la frecuencia Cardíaca en alguna extremidad del cuerpo por lo que se eligió hacer la medida en el lóbulo de oreja, el Arduino, módulo XBee y batería se colocaran dentro de una mochila plástica en la espalda del trabajador. El peso de la mochila es de 0.52 libras. En la Figura 1-4 se muestra la ubicación del nodo sensor.



**Figura 1-4:** Mochila para el nodo sensor  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Una vez implementado el dispositivos se realiza la comparación de los valores medidos por el nodo sensor y el tensiómetro LD-733, como resultado se obtuvo un error del 2.5% (Ver Anexo H).

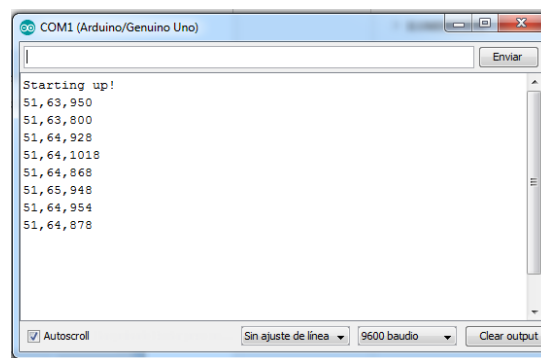
En la Figura 2-4 se muestra la trama de datos a ser transmitida por el nodo sensor 3.



**Figura 2-4:** Trama de datos enviada por el nodo sensor  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

#### 4.1.2 Pruebas al nodo Coordinador

En la Figura 3-4 se observa la recepción de los datos del nodo sensor 3, por lo que se demuestra que la recepción de los datos es satisfactoria.

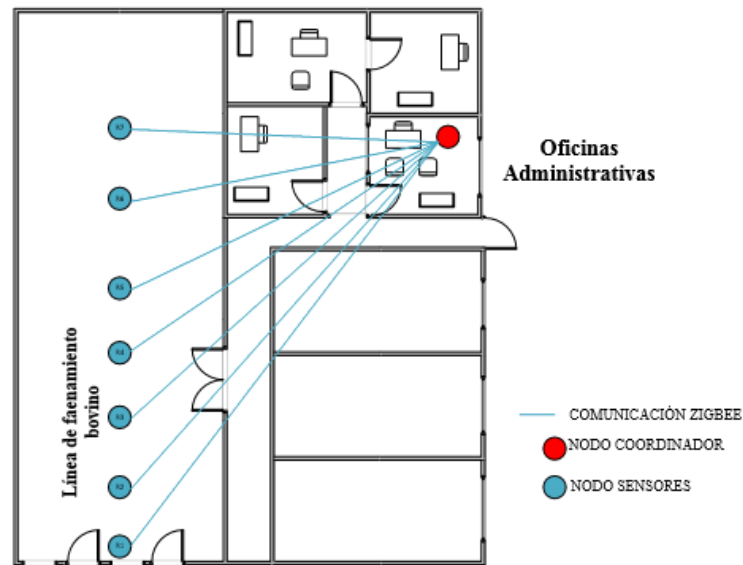


**Figura 3-4:** Monitor Serie del nodo sensor  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

El primer dato es el identificador del nodo sensor, es emitido en formato decimal y se recibe en el equivalente en código ASCII, mientras que los demás valores mantienen el mismo formato de envío es decir decimal. El nodo coordinador se ubicará en las oficinas administrativas del Camal conectado a la computadora donde se instalará el sistema de medición.

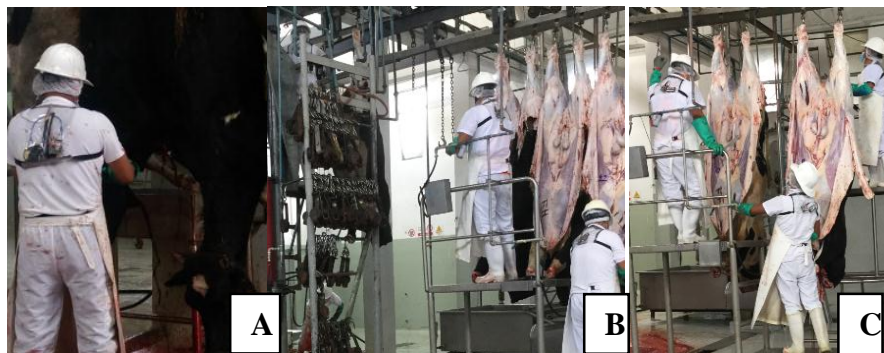
## 4.2 Resultado y análisis de la WSN

La adecuada instalación de los nodos sensores en los trabajadores es de suma importancia, para obtener una respuesta inmediata y envío de datos de manera adecuada al nodo coordinador, por lo que se resolvió emplear la topología en estrella, en la Figura 4-4 indica la ubicación de los nodos sensor.



**Figura 4-4:** Red Inalámbrica de Sensores-  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

En la Figura 5-4 se muestra a los trabajadores de las estaciones de trabajo Aturdimiento y anclaje (Nodo1), desangre, degüello y despresado de patas (Nodo2) y desollado (Nodo 3,4 y 5) con los dispositivos colocados.



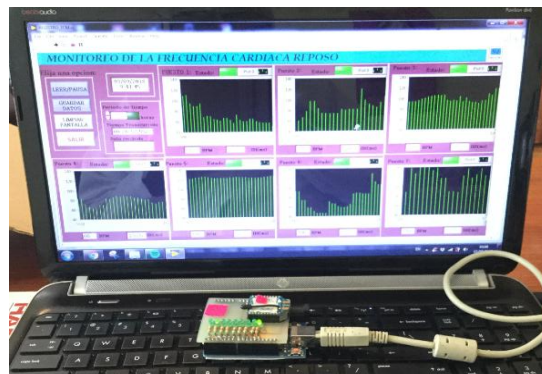
**Figura 5-4:** A) Nodo1, B) Nodo2, C) Nodo3, 4 y 5 con los dispositivos colocados.  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

En la Figura 6-4 se muestra a los trabajadores de las estaciones de eviscerado (Nodo6) y sellado y división de la canal (Nodo7) con los dispositivos colocados.



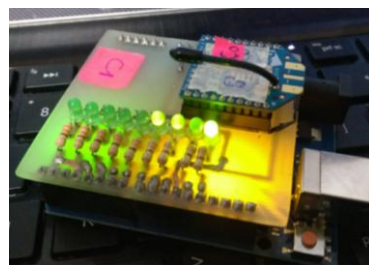
**Figura 6-4:** A) Nodo6, B) Nodo7 con los dispositivos colocados.  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Se comprueba la satisfactoria transmisión inalámbrica de datos al recibir la información remotamente en Labview como se muestra en la Figura 7-4.



**Figura 7-4:** Recepción de datos del sistema de medición de la FC  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Los led del nodo coordinador indicaran cuando se recepta los datos transmitidos de los nodos sensor, como se muestra en la Figura 8-4.



**Figura 8-4:** Conexión de nodos sensores con coordinador  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



### 4.3 Análisis fiabilidad del sistema de medición de la FC

Los parámetros utilizados en las pruebas se resumen en la Tabla 1-4. El promedio de paquetes recibidos es de 100 cada hora de todos los nodos, con un tamaño del paquete de entre 9 -11 bytes, en cada paquete las mediciones para PER (bit error rate) que es el número de errores de bit dividido por el número total de bits transferidos durante un intervalo de tiempo estudiado, fueron hechas desde una distancia entre 40m entre el nodo sensor y el nodo coordinado. El sistema funciona en una banda de 2.4GHZ y ofrece una velocidad 250Kbps.

**Tabla 1-4:** Parámetros utilizados en las pruebas

PARAMETROS	VALOR
Numero de paquetes recibidos	100(bpm)
Tamaño de los paquetes enviados	(9-11) bytes
Numero de nodos	1 a 7
Configuración de topología	Estrella
Tasa de datos enviados al canal	250kps
Distancia máxima	1 a 60 m
Frecuencia de recepción	2,4 GHz

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

### 4.4 Resultados y análisis de la aplicación

Para el registro de FCR se colocó el dispositivo y se pidió que los trabajadores permanezcan sentados o de pie durante 10 minutos como se muestra en la Figura 9-4



**Figura 9-4:** Medición de la FCR con el dispositivo.

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Para el registro de FCM se colocaron las mochilas a los trabajadores como se muestra en la Figura 10-4.



**Figura 10-4:** Disposición de los nodos sensor  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Una vez que la información ha sido recopilada y guardada en el subprograma registro de la FCR o FCM del menú principal y con las fichas de datos anteriormente creadas, se determinó el esfuerzo físico de los trabajadores mediante el subprograma calcular índices, en la Figura 11-4 se muestran los valores calculados y la valoración del esfuerzo físico.

**ESTACIÓN 1:**

CODIGO: 011 NOMBRE: SANTIAGO CARRERA IngresarCodigo: 011  
 EDAD: 31 Años BuscarCodigo: [Botón]

A) OPCION 1  
 Seleccionar ubicacion de los datos para calcular FCR  
 Frecuencia Cardiaca: 78 BPM  
 Reposo Calculada: [Botón] Calcular FCR

B) OPCION 2  
 Ingresar FCR manualmente  
 78 BPM Ingresar FCR

Seleccionar Ubicacion de los datos para calcular indices cardiacos  
 D:\TESIS SANDRA\PROGRAMAS LA...\REGISTRO\DATOS\_FCM\General\_ago31t.txt

Variables	Valor	Coficiente de penosidad
FCM	92	1
DFC	44	6
FCMax	136	4
CCA	16	4
CCR	14	2

Sumatoria de parametros: 17

Valoracion del puesto de trabajo  
 SOPORTABLE Y LIGERO

Esfuerzo fisico:  
 ACEPTABLE:  
 Sumatoria entre (10 -17)

[Botón: Calcular Indices]  
 [Botón: Limpiar Pantalla]  
 [Botón: Imprimir Reporte]  
 [Botón: SALIR]

**Figura 11-4:** Subprograma para la valoración de un puesto de trabajo  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Finalmente se imprimió el reporte con los datos calculados como se observa en la Figura 12-4.



**REPORTE**

INFORMACION PERSONAL		
Nombre: SANTIAGO CARRERA		
Edad: 31		
<b>Valor de la frecuencia cardiaca en reposo</b>		
FRECUCENCIA	BPM	
Frecuencia Cardiaca en reposo (FCR):	76	
<b>Valores de los criterios cardiacos</b>		
VARIABLES	VALOR	COEFICIENTE DE PENOSIDAD
Frecuencia Cardiaca Media (FCM):	92	1
Incremento de la Frecuencia Cardíaca (DFC):	44	6
Frecuencia Cardiaca Máxima (FCMax):	136	4
Costo Cardiaco Absoluto (CCA):	16	4
Costo Cardiaco Relativo (CCR):	14	2
<b>TOTAL:</b>		17
<b>Valoración global del puesto de trabajo:</b>		
SOPORTABLE Y LIGERO		
<b>Valoración del esfuerzo fisico:</b>		
ACEPTABLE: Sumatoria entre (10 -17)		

**Figura 12-4:** Informe generado  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

La verificación del resultado se realizó con la ayuda de Excel, mediante la aplicación de las fórmulas se calculó los índices cardíacos y se obtuvo como resultado que la información generada por la aplicación es igual a la calculada de manera manual como se observa en la Figura 13-4.

49	39	Estable	62	31/08/2018	10:30:17	FCR	76		EDAD	39
49	39	Estable	63	31/08/2018	11:43:09	FCM	92,21	1		
49	39	Estable	63	31/08/2018	14:41:06	FCMAX	136,00	4		
49	39	Estable	63	31/08/2018	15:20:09	FCMAX_T	181,00			
49	39	Estable	65	31/08/2018	14:43:08	CCA	16,21	4		
49	39	Estable	66	31/08/2018	10:37:50	CCR	0,15	2		
49	39	Estable	66	31/08/2018	14:32:17	DFC	43,79	6		
49	39	Estable	67	31/08/2018	15:21:10				17	LIGERA Y SOPORTABLE
49	39	Estable	68	31/08/2018	14:49:32					
49	39	Estable	69	31/08/2018	10:43:43					
49	39	Estable	69	31/08/2018	15:13:06					
49	39	Estable	70	31/08/2018	10:09:11					

**Figura 13-4:** Comprobación con Excel de los datos calculados  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

## 4.5 Verificación de la FCR de los trabajadores

Con el análisis de la encuesta realizada a los trabajadores (ver Anexo I) y después de calcular el promedio de los valores registrados de la FCR como se muestra en la Tabla 2-4, se determinó que la frecuencia cardíaca de reposo de los trabajadores se encuentra dentro de los valores de 70 y 82 bpm correspondiente a un rango normal en hombres adultos y sedentarios.

**Tabla 2-4:** Valores promedios de la FCR medida

NOMBRE	J	L	M	J	V	L	M	V	L	M	J	V	PROMEDIO
Santiago Carrera	73	80	78	70	73	70	80	75	81	75	76	75	75,50
Victor Espinoza	90	92	80	86	72	81	71	83	92		74		82,10
Mauro Morales	72	80	82	83	89	84	86	77	87	78	80	86	82,00
Antonio Rojas	72	71	79	70	70	68	70	62	70	75	70	71	71,13
Diego Fuenmayor		71	72	72						70			71,25
Juan Toglla	80	80	67	63	72	66	67	78	65	73		67	70,73
Clever Jimenez	76	81	76	85	71	65	72	84	74	81	87	95	78,92
Sergio Riscos					82	74	72	71					74,75
Luis Cepeda							62			76			69,00
Elvis Chinlli									71	73	72	75	72,75
Patricio Miniarcaya										70	74	76	73,33

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Se determina entonces que las personas elegidas pueden formar parte de la investigación, adicionalmente se confirmó que en enero del presente año se efectuó pruebas médicas incluido electrocardiogramas, por lo que se descarta problemas cardíacos o de salud en los trabajadores.

## 4.6 Resultado de la valoración del esfuerzo físico.

Después de realizar el monitoreo y registro de la frecuencia cardíaca de los trabajadores durante un par de mes, se obtuvo diariamente la valoración de la carga física de los puestos de trabajo emitidos por la aplicación. En la Tabla 3-4 se resume los resultados de la valoración, en la antepenúltima columna se calculó las medias de la carga física por puesto de trabajo y en la última columna se valoró el esfuerzo físico.

**Tabla 3-4:** Tabla de valoración de la carga física y esfuerzo físico

	# ANIMALES FAENADOS	90	117	73	141	80	116	75	126	111	110	81	150		
# NODO	PUESTOS DE TRABAJO	L U	M A	J U	V I	L U	M A	J U	V I	L U	M A	J U	V I	MEDIA	VALORACIÓN
NODO1	ATURDIMIENTO Y ANCLAJE	18	13	23	19	13	15	21	17	17	16	20	18	17,50	Soportable y Penosa
NODO2	DESANGRE, DEGÜELLO, Y DESPRESADO DE PATAS	18	24	24	13		20	21	11	19	5	7	5	15,18	Ligera y Soportable
NODO3	ZONA DE DESOLLADO	11	5	16	21	12	23	16	10	9	5	11	13	12,67	Ligera
NODO4	ZONA DE DESOLLADO	9	14	12	20		8	11	11	8	19	19	23	14,00	Ligera y Soportable
NODO5	ZONA DE DESOLLADO	12	16	14	15	8	5	13	22	10	25	17	21	14,83	Ligera y Soportable
NODO6	EVISCERADO	23	21	20	17	21	15	20	22	22	19	19	20	19,92	Soportable y Penosa
NODO7	SELLADO Y DIVISIÓN	20	5	13	15	8	20	9	10	22	9	9	17	13,08	Muy ligera

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Después de comparar la valoración de la carga física y del esfuerzo físico se obtuvo como resultado que los puestos de trabajo que registraron las valoraciones más bajas son: sellado\_división y desollado, mientras que los puestos de trabajo que registraron más esfuerzo físico son: eviscerado y aturdimiento\_anclaje.

En la Tabla 4-4 se muestra la valoración del esfuerzo físico en orden descendente de todos los puestos de trabajo.

**Tabla 4-4:** Tabla ascendente de valoración de esfuerzo físico

Id	Puesto de trabajo	Rango promedio Valoración
NODO3	ZONA DE DESOLLADO	Ligera
NODO7	SELLADO Y DIVISIÓN	Muy ligera
NODO4	ZONA DE DESOLLADO	Ligera y Soportable
NODO5	ZONA DE DESOLLADO	Ligera y Soportable
NODO2	DESANGRE, DEGÜELLO, Y DESPRESADO DE PATAS	Ligera y Soportable
NODO1	ATURDIMIENTO Y ANCLAJE	Soportable y Penosa
NODO6	EVISCERADO	Soportable y Penosa

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

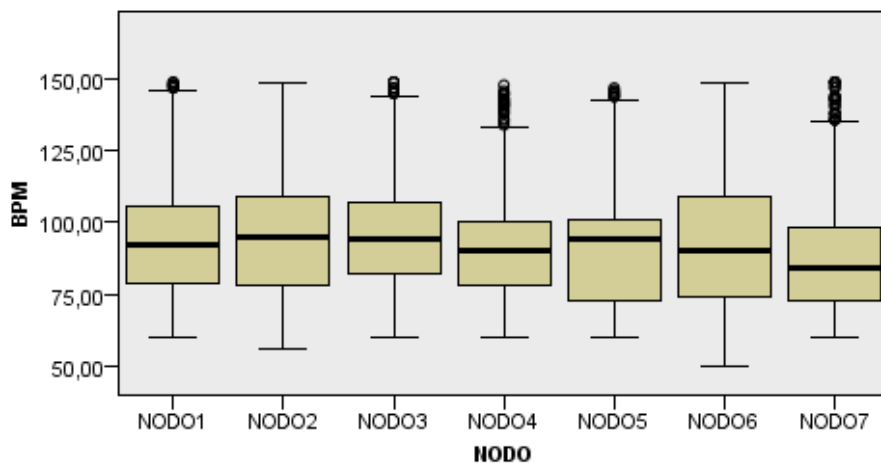
## 4.7 Demostración de la hipótesis

En la Figura 14-4 se muestra el análisis descriptivo de la variable dependiente por nodos, también se observan los límites para la media de cada grupo al 95% de confianza.

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
NODO1	642	94,2726	20,95472	,82702	92,6486	95,8966	60,00	149,00
NODO2	701	95,2710	21,79353	,82313	93,6549	96,8871	56,00	149,00
NODO3	848	96,1344	18,54414	,63681	94,8845	97,3843	60,00	149,00
NODO4	793	91,6633	18,47169	,65595	90,3757	92,9509	60,00	148,00
NODO5	825	90,5794	20,34619	,70836	89,1890	91,9698	60,00	147,00
NODO6	930	93,1624	22,69877	,74432	91,7016	94,6231	50,00	149,00
NODO7	693	88,0779	20,58950	,78213	86,5423	89,6136	60,00	149,00
Total	5432	92,7699	20,68750	,28069	92,2196	93,3201	50,00	149,00

**Figura 14-4:** Análisis descriptivo de la variable dependiente para una  $\alpha \leq 0.05$   
**Realizado por:** HURTADO, Sandra, 2018

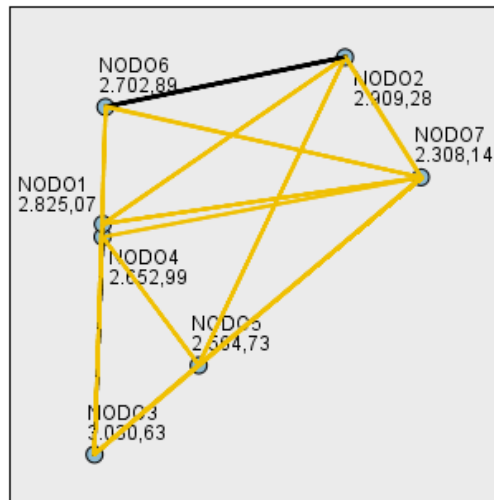
Al no cumplirse el supuesto de homocedasticidad se aplica el método no paramétrico de H de Kruskal – Wallis, del cual se obtiene una significación menor de 0.05 por lo tanto se rechazar la hipótesis nula y se acepta que existen diferencias significativas entre los bpm medidos de los diferentes nodos, como se muestra en la Figura 15-4 que muestra el diagrama de cajas con los valores de los bpm de cada nodo.



**Figura 15-4:** Diagrama de cajas de la prueba Kruskal-Wallis  
**Realizado por:** HURTADO, Sandra, 2018

Para determinar la diferencia entre los nodos se utiliza las pruebas post hoc que muestran la información del contraste por cada pareja como muestra la Figura 16-4

### Comparaciones entre parejas de NODO



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de NODO.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
NODO7-NODO5	256,587	80,794	3,176	,001	,031
NODO7-NODO4	344,847	81,535	4,229	,000	,000
NODO7-NODO6	394,747	78,685	5,017	,000	,000
NODO7-NODO1	516,928	85,890	6,018	,000	,000
NODO7-NODO2	601,137	83,993	7,157	,000	,000
NODO7-NODO3	722,491	80,293	8,998	,000	,000
NODO5-NODO4	88,260	77,977	1,132	,258	1,000
NODO5-NODO6	-138,160	74,991	-1,842	,065	1,000
NODO5-NODO1	260,341	82,520	3,155	,002	,034
NODO5-NODO2	344,551	80,543	4,278	,000	,000
NODO5-NODO3	465,904	76,676	6,076	,000	,000
NODO4-NODO6	-49,899	75,788	-,658	,510	1,000
NODO4-NODO1	172,081	83,245	2,067	,039	,813
NODO4-NODO2	256,290	81,286	3,153	,002	,034
NODO4-NODO3	377,644	77,457	4,876	,000	,000
NODO6-NODO1	122,181	80,456	1,519	,129	1,000
NODO6-NODO2	206,391	78,427	2,632	,008	,178
NODO6-NODO3	327,745	74,450	4,402	,000	,000
NODO1-NODO2	-84,210	85,654	-,983	,326	1,000
NODO1-NODO3	-205,563	82,029	-2,506	,012	,256
NODO2-NODO3	-121,354	80,040	-1,516	,129	1,000

**Figura 16-4:** Prueba post hoc, comparación por parejas de nodos  
Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Entonces se precisa lo siguiente:

- La estación de sellado y división (Nodo7) registro los bpm más bajos en comparación de todos los demás nodos
- La estación de eviscerado (Nodo6) registro las bpm más altos en comparación de todos los demás nodos
- En la estación de desollado en donde laboran tres personas el Nodo3 correspondiente al primer puesto de trabajo registró los bpm más altos en referencia a los Nodos 4 y 5.
- La estación de desangre, degüello y despresado de patas (Nodo2) registró bpm más altos que la estación de aturdimiento y anclaje (Nodo1).
- En los demás casos no existen diferencias significativas.

El valor de la significación de la pareja de nodos que sea cercano a 1; determina que no existen diferencias entre las medianas de los nodos, sin embargo si la significación es menor a 0.05 existen diferencias significativas en dicha pareja,

Se acepta que los bpm registrados por el sistema de medición de la frecuencia cardíaca basado en una WSN implementado en la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba tienen diferencias significativas entre cada puesto de trabajo.

#### **4.8 Discusión**

Esta investigación tuvo como propósito diseñar un sistema de medición de la frecuencia cardíaca para la determinación del esfuerzo físico en el personal de la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba, para lo cual se buscó identificar la frecuencia cardíaca en reposo de los trabajadores, determinar los equipos de medición no intrusivos, implementar un sistema basado en una WSN que permita la transmisión de datos desde cada puesto de trabajo, diseñar una aplicación informática que facilite el monitoreo, registro de la frecuencia cardíaca y valoración del esfuerzo físico y evaluar la implementación del sistema de medición no intrusivo.

Para el sistema de monitoreo se desarrolló dispositivos inalámbricos capaces de detectar la frecuencia cardíaca a distancias menores a 60 metros y durante un periodo de cuatro horas, se usó una tarjeta Arduino para procesar la detección de las pulsaciones por minuto del sensor Amped SEN 11574, se obtuvo una buena emisión y recepción de información con los módulos los XBee S2C, no obstante existe retardos mínimos y en ciertas ocasiones hay perdida de la señal debido a que las personas abandonan el área de cobertura, la aplicación al guardar la información en vectores para simplificar el almacenamiento demora algunos instantes en recopilar la información del nodo a ser evaluado por lo que existe un periodo de demora antes de obtener la valoración.

Los datos adquiridos por el sistema tienen un error del 2.5% en comparación con el pulsímetro LD-733, cada hora se recepta alrededor de 100 paquetes de datos de cada nodo, al final de la jornada se dispone de suficiente datos para efectuar una valoración confiable del esfuerzo físico, la aplicación del criterio de Frimat para la valoración de la carga física fue el más adecuado debido que el trabajo de faenamiento se realiza en un periodo de cuatro a cinco horas por lo que los resultados son válidos. El sistema puede ser aplicado en otras industrias que no sobrepasen las limitaciones mencionadas.

A partir de los resultados obtenidos del sistema de medición de la frecuencia cardíaca, se puede concluir que la frecuencia cardíaca en reposo de los trabajadores se encuentra dentro del rango normal de una persona adulta y sedentaria debido a que ninguno realiza actividad física regularmente. El dispositivo no intrusivo desarrollado complementa una parte de la red WSN pues se encarga de sensar y transmitir la frecuencia cardíaca, al igual que lo mencionan (Campaña & Londoño, 2013) el desarrollo de sensores es una parte complementaria en el proceso de creación de una WSN.

Para obtener una transmisión confiable de la frecuencia cardíaca en base a una WSN desde los puestos de trabajo (nodos sensor) hasta las oficinas administrativas (nodo coordinador) se debió realizar varios análisis y experimentos tales como la ubicación y distancia entre los nodos, la capacidad del XBee para transmitir, el modo programación de los XBee, entre otros, y finalmente al igual que (Zulkifli, N. S. A.,

Harun, F. C., & Azahar, N. S, 2012) se determinó que al crear una red es vital asegurarse de que los datos transmitidos y recibidos sean preciso y se obtengan en tiempo real. Por otro lado los datos registrados por el sistema de medición de la frecuencia cardíaca demuestran que la tecnología inalámbrica Zigbee proporciona la lectura estable y precisa como lo indican (Choudhary, D & Kumar, R, 2016) en sus experimentos. De la misma manera que (Ruiz , 2016) se considera como ventaja la utilización del protocolo de comunicación Zigbee y los módulos de comunicación XBee para la monitorización y transmisión de variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca desde un nodo sensor hasta el nodo coordinador.

Para la elaboración de la interfaz, Labview resultó una eficiente herramienta de desarrollo que permitió el registro y monitoreo en tiempo real de la frecuencia cardíaca, concordando con (Choudhary, D & Kumar, R, 2016), con la valoración calculada por la aplicación se determinó el esfuerzo cardíaco de los puestos de trabajo. Aun que sería muy beneficioso en el futuro migrar la programación a otro software que permita realizar los cálculos de manera más ágil y dar solución al retardo que existe en el procesamiento de la información.

A partir del análisis de los datos registrados por el sistema de medición de la frecuencia cardíaca se aceptó la hipótesis alternativa que establece que los bpm registrados por el sistema de medición de la frecuencia cardíaca basado en una WSN implementado en la línea de faenamiento bovino del Camal Municipal de Riobamba tienen diferencias significativas entre cada puesto de trabajo, que ayudo a establecer cuales puestos necesitan más esfuerzo físico que otros.



## CONCLUSIONES

- Se determinó que la frecuencia cardíaca en reposo de los trabajadores se encuentra entre 70 y 82 bpm correspondientes a rangos normales según la edad y sexo.
- Para realizar la medición no intrusiva de la frecuencia cardíaca se eligió el sensor de pulso Amped SEN 11574 para ser colocado en el lóbulo de la oreja, el módulo de comunicación inalámbrica Xbee S2C, tarjeta Arduino UNO R3 y una batería recargable para la energización.
- Se determinó que la red WSN realiza la emisión y recepción de 100 paquetes de datos por hora de los siete nodos, cada paquete con un tamaño de 9-11 bytes con una tasa de envíos al canal de 250kps en un rango máximo 60 metros.
- La aplicación desarrollada en LabVIEW del sistema de medición de la frecuencia cardíaca, facilitó el monitoreo continuo, registro de las pulsaciones por minuto, almacenamiento de los datos, el cálculo de los índices cardíacos y la valoración del esfuerzo físico de cada puesto de trabajo mediante la aplicación del criterio Frimat.
- El sistema permitió determinar los esfuerzos físicos de los diferentes puestos de trabajo.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar la implementación de los nodos sensor con fuentes de alimentación de capacidad superior, incluir módulos de comunicación con un mayor alcance o utilizar elementos de menor tamaño para llegar a desarrollar biosensores portátiles.
- Las redes de sensores inalámbricos (WSN) se han convertido en una tecnología prometedora para diversas aplicaciones, por lo que se debe complementar el sistema de medición de la frecuencia cardíaca con la implementación de sensores para el monitoreo de señales fisiológicas como temperatura corporal, presión sanguínea, flujo sanguíneo, nivel de glucosa, etc.
- En trabajos futuros se propone incrementar en la aplicación informática envío de la información a un dispositivo móvil o la implementación del monitoreo externo.
- Migrar la programación a otro Software que ayude de manera más ágil en el procesamiento de la información para obtener los resultados de manera instantánea.
- Se debe incrementar en el sistema el uso de cámaras en los puestos de trabajo para facilitar la monitorización.

## BIBLIOGRAFÍA

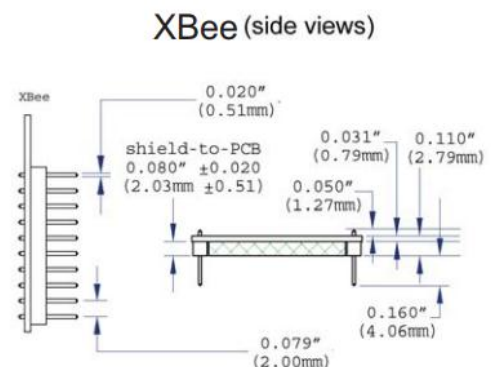
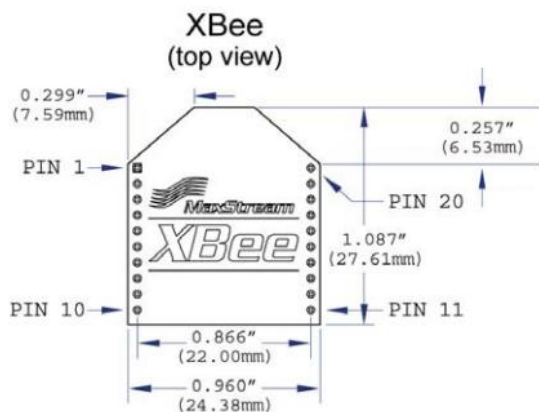
- Akyildiz, I., & Can Vuran, M. (2010).** *Wireless Sensor Networks*. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- American Heart Association. (Julio de 2015).** *All About Heart Rate (Pulse)*. Obtenido de <http://www.heart.org/>
- Arduino. (2018).** *What is Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc>
- Balcells, J., & Romeral, J. (1997).** *Autómatas Programables*. España: Boixareu Editores.
- Campaña, S., & Londoño, J. (2013).** *Estudio de redes de sensores y aplicaciones orientadas a la recolección y análisis de señales biomédicas*. Obtenido de <https://revistas.uis.edu>
- Capella, A., Maciá, F., & Ramos, H. (s.f.).** *Detección proactiva de patologías en la construcción mediante redes de sensores inteligentes*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228603693\\_Deteccion\\_proactiva\\_de\\_patologias\\_en\\_la\\_construccion\\_mediante\\_redes\\_de\\_sensores\\_inteligentes](https://www.researchgate.net/publication/228603693_Deteccion_proactiva_de_patologias_en_la_construccion_mediante_redes_de_sensores_inteligentes)
- Carrasco, L. C. (2016).** *Demandas Fisiológicas en Actividades Fitness y Determinación de las Intensidades*. Obtenido de <http://www.frecuencia-cardiaca.com>
- Castillo, J., & Cubillos, A. (2014).** Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas. *Revista Ciencias de la Salud*, 12(esp), 27-43. doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04>
- CCM. (2017).** *Redes inalámbricas*. Obtenido de <https://es.ccm.net>
- Choudhary, D, & Kumar, R. (2016).** Heart Rate Analysis and Monitoring of Patients from offsite through Wireless Sensor Network. . *2016 Second International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT)*, (págs. 248-253).
- Crespo, E. (16 de Noviembre de 2016).** *ZigBee/XBee*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com>
- CrypticImages. (2017).** *Heart arrhythmia News and Images*. Obtenido de <http://crypticimages.com/heart-arrhythmia/>

- Diario El Comercio. (29 de agosto de 2016).** *Las enfermedades cardiovasculares son la primera causa de muerte en Ecuador.* Obtenido de <http://www.elcomercio.com>
- Diario El Tiempo. (18 de Julio de 2017).** *Problemas cardiovasculares es la principal causa de muerte.* Obtenido de <https://www.eltiempo.com.ec>
- Digi. (2018).** *Zigbee RF Modules.* Obtenido de <https://www.digi.com>
- Digi. (2018).** *Zigbee Wireless Standard.* Obtenido de <https://www.digi.com>
- Google Maps. (2014).** Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/>
- Gutiérrez, M. (10 de agosto de 2015).** *Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica.* Obtenido de <https://elandroidelibre.espanol.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- INSHT n° NTP 177. (s.f.).** NTP 177: La carga física de trabajo: definición y evaluación. Barcelona.
- INSHT n° NTP 295. (s.f.).** NTP 295: Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardiaca. Barcelona.
- Instituto Navaro de Salud Laboral. (2010).** *Riesgos por Carga, Física o Mental, de Trabajo.* Obtenido de <http://www.navarra.es/NR/ronlyres/74D4E0EE-0BD0-43E1-91BC-235B883C85B1/0/m2ud3.pdf>
- Llaneza, J. (2009).** *Ergonomía y psicología aplicada : manual para la formación del especialista.* Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=BnCtJjxWTL0C&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=BnCtJjxWTL0C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- MacGill, M. (15 de Noviembre de 2017).** *What should my heart rate be?* Obtenido de <https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710.php>
- Morales, M. (10 de 05 de 2017).** *Grove Finger Clip – ¿Cómo funciona un Sensor de frecuencia Cardiaca?* Obtenido de <http://blog.teslabem.com/grove-finger-clip/>
- National Instruments. (2018).** *Qué es LabVIEW.* Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>
- Núñez, G. (2014).** *Diseño de aplicación en C# para gestión de red de sensores inalámbrica.* (Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12194/fichero/PFC+Guillermo+Jos%C3%A9+N%C3%BA%C3%B1ez+S%C3%A1nchez.pdf>

- Ruiz , W. (2016).** Redes de sensores inalámbricos enfocadas a la Medicina con énfasis en control de los signos vitales en Pacientes Adultos Mayores. (*Tesis de maestría*). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11311/tesis%20final%20mastr%C3%ADa.pdf?sequence=1>
- Santa, E. M. (12 de Diciembre de 2014).** *Ficha experimental para el seguimiento corporal*. Obtenido de Efdeportes: <http://www.efdeportes.com/efd201/ficha-experimental-para-el-seguimiento-corporal.htm>
- SparkFun Electronics. (2017).** *Pulse Sensor*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/11574>
- Verle, M. (2009).** *Microcontroladores PIC - Programacion en Basic*. Obtenido de <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-basic/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>
- Weinstein, A. (2015).** *Sistema de monitoreo no intrusivo de senales biomedicas*. Obtenido de <http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/209850>
- World Famous Electronics. (2018).** *Pulse Sensor Amped*. Obtenido de <https://pulsesensor.com/pages/pulse-sensor-amped-arduino-v1dot1>
- Zulkifli, N. S. A., Harun, F. C., & Azahar, N. S. (2012).** XBee Wireless Sensor Networks for Heart Rate. *IEEE*, DOI: 10.1109/ICoBE.2012.6179054.

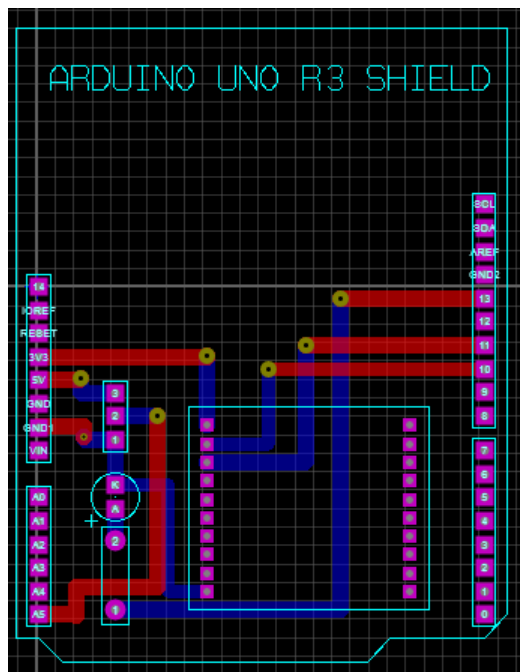
## ANEXO A: Datasheet Del modulo XBee S2C

Specification	XBee Series 2
<b>Performance</b>	
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)
Transmit Power Output (software selectable)	2mW (+3dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-95 dBm (1% packet error rate)
<b>Power Requirements</b>	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Operating Current (Transmit)	40mA (@ 3.3 V)
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C
<b>General</b>	
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector
<b>Networking &amp; Security</b>	
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer & Mesh
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
<b>Agency Approvals</b>	
United States (FCC Part 15.247)	Pending
Industry Canada (IC)	Pending
Europe (CE)	Pending

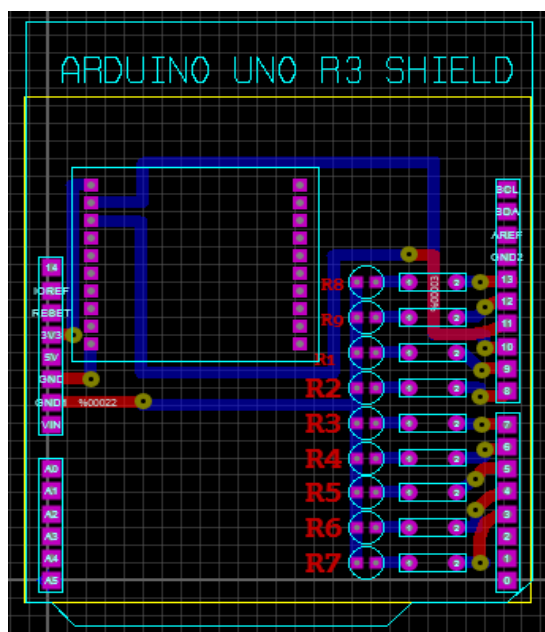


## ANEXO B: Diseño de placas para nodos sensor y nodo coordinador.

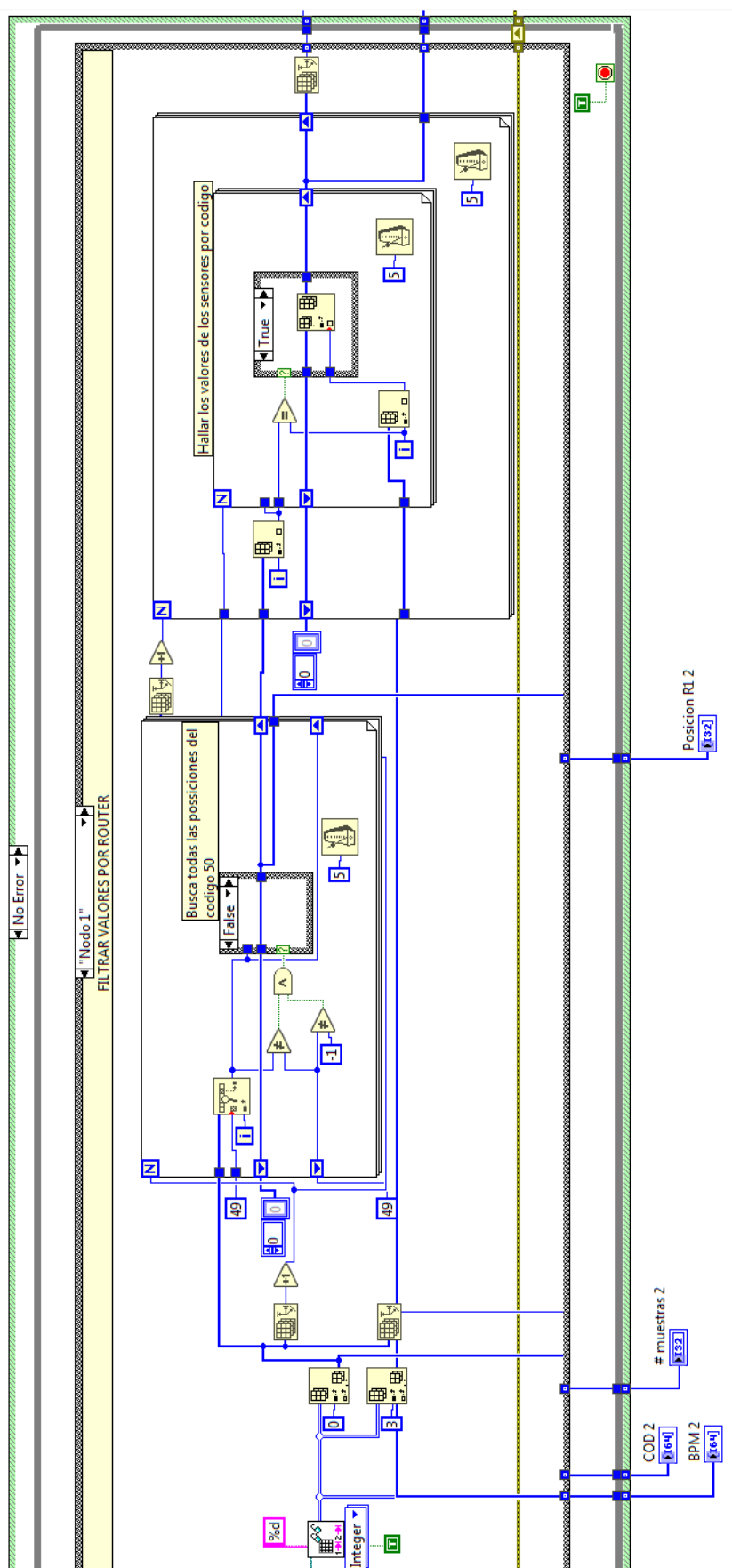
### Placa para el modulo coordinados



### Placa para los módulos designados dispositivo final



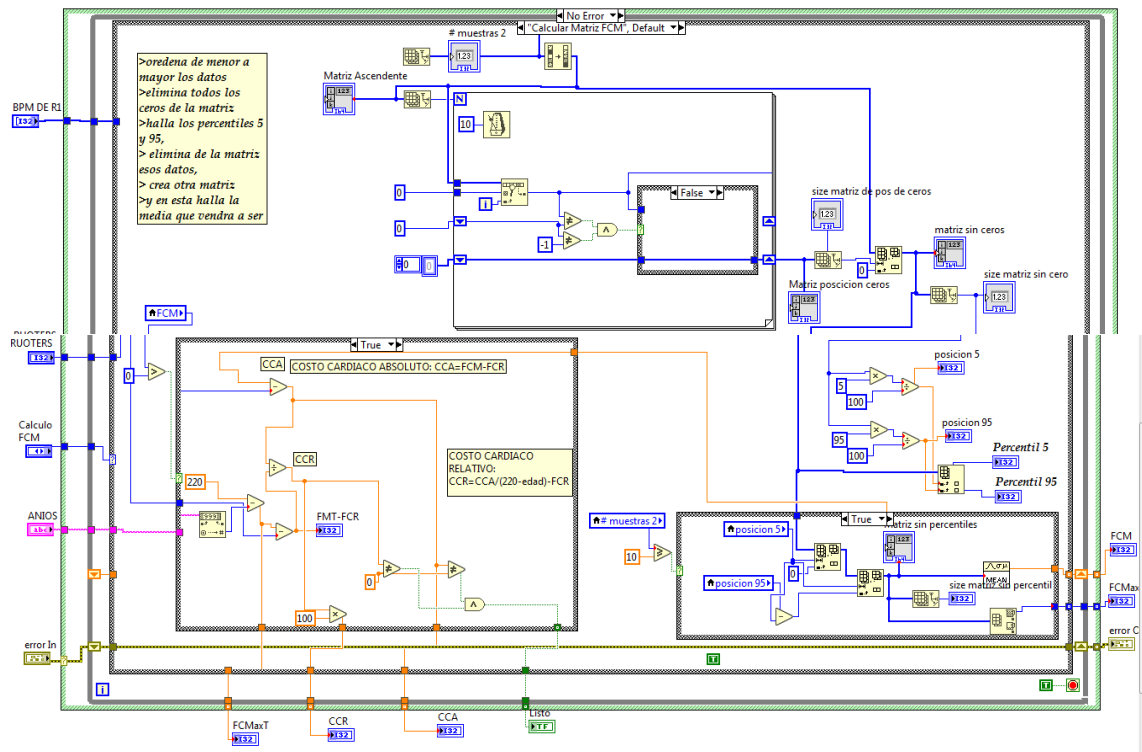
## ANEXO C: Subprograma Matriz Cod



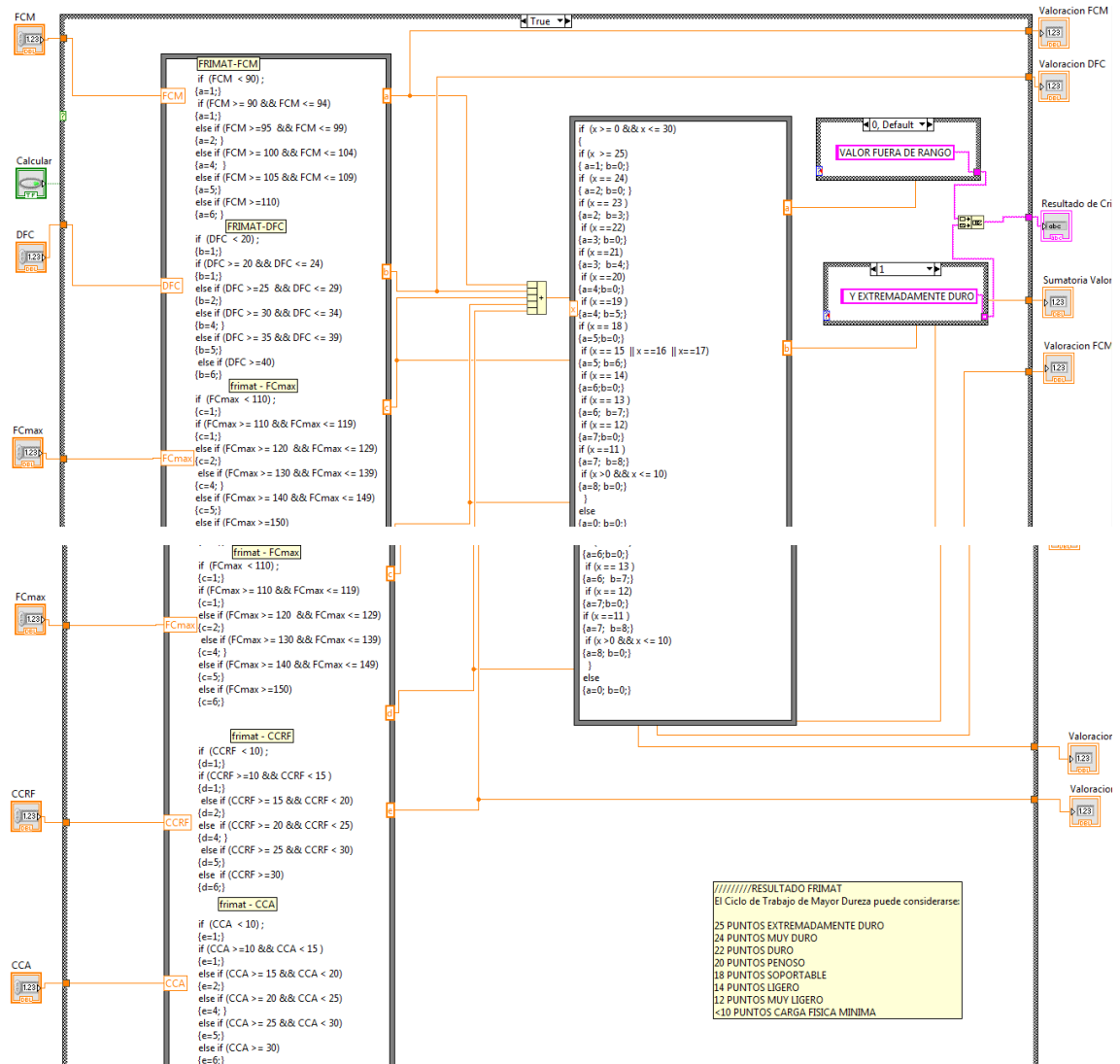




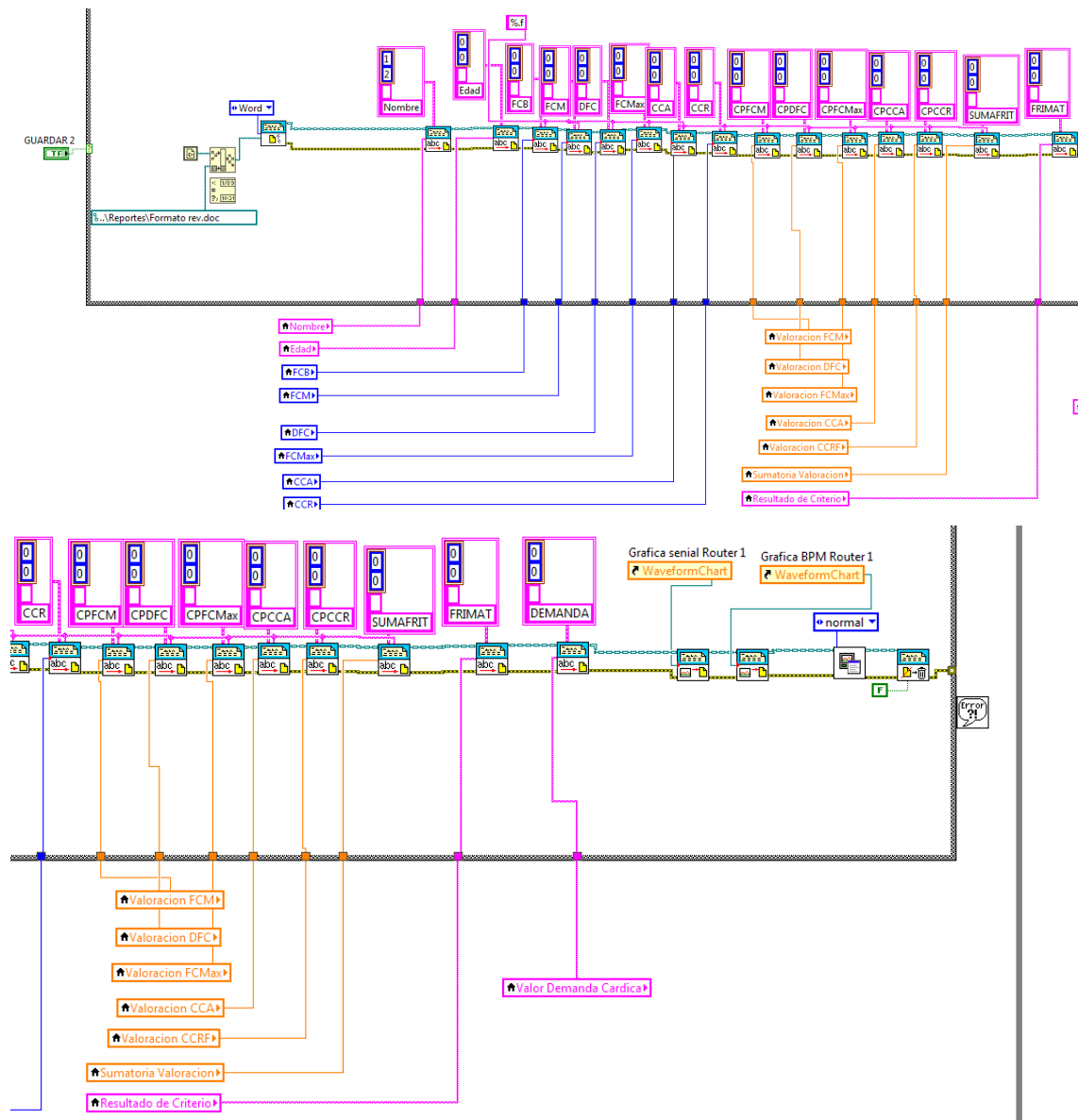
## ANEXO E: Subprograma Matriz FCM, CCA, CCR



## ANEXO F: Subprograma para la valoración del criterio Frimat



## ANEXO G: Subprograma para la generación del reporte



## ANEXO H: Pruebas al sensor de pulso Amped SEN 11574

Para la comparación de los valores medidos por el sensor de pulso Amped, se usó un tensiómetro y se realizó una toma de 10 muestras, luego de varias pruebas se comprobó mediante la siguiente tabla el valor del error que existe.

# MUESTRAS	SENSOR AMPED	TENSIOMETRO LD-733	ERROR (%)
1	76	76	0
2	75	77	2
3	75	79	4
4	74	79	5
5	75	78	3
6	76	78	2
7	77	78	1
8	75	79	4
9	75	78	3
10	76	77	1
PROMEDIO			2,5 %

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Se determinó que el error del sensor es de un promedio de 2.5% y este error puede ser por mala ubicación, se asume que el error obtenido no es representativo

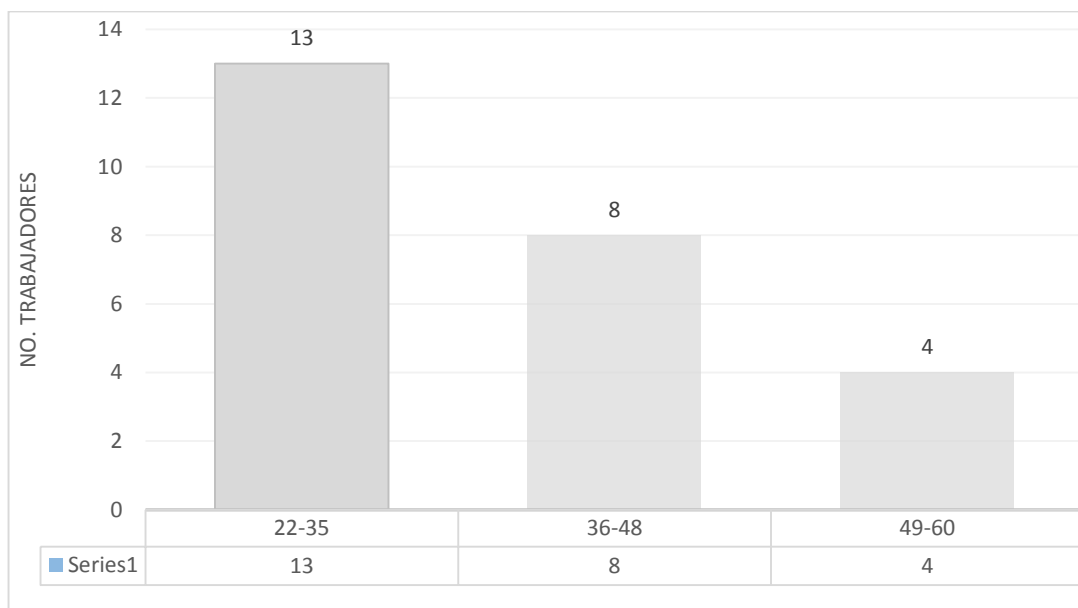
## **ANEXO I:** Análisis de la encuesta realizada a los trabajadores de la línea de faenamiento bovino.

Con el fin de determinar si existe algún antecedente médico y dar una pauta de inicio para el proyecto se efectuó una encuesta, a continuación se presentan los resultados de análisis de la misma.

### ▪ **Variables sociodemográficas**

Para el análisis de los datos se dividió a los trabajadores en tres grupos: el primer grupo comprende de personas con edades entre 22 y 35 años, el segundo grupo tiene personas entre 36 y 48 años y el tercer grupo contiene personas con edades entre 49 y 60 años.

Al primer grupo pertenece 13 trabajadores, al segundo grupo pertenecen 8 trabajadores y al tercer grupo pertenece 4 trabajadores, esto representa el 52%, 32% y 16% de la población respectivamente como se puede ver en la siguiente figura.

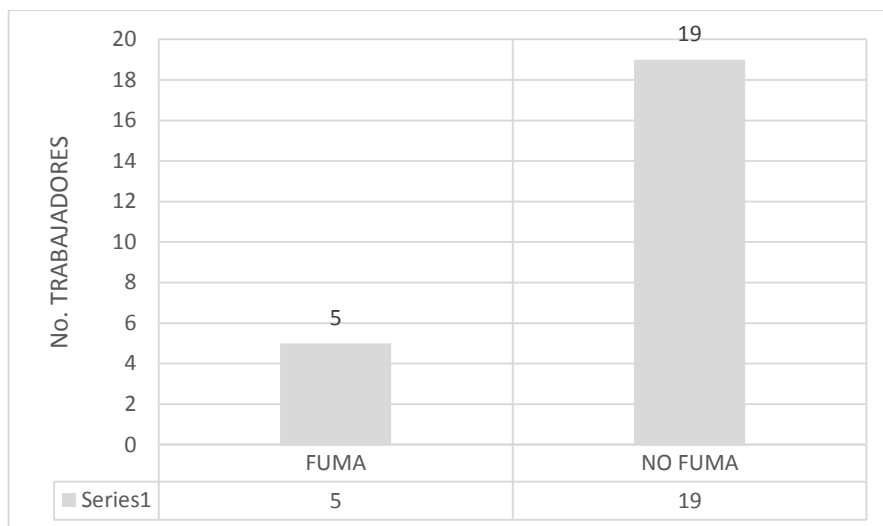


**Realizado por:** HURTADO, Sandra, 2018

El tiempo de experiencia que tienen los trabajadores varía entre 40 años a 3 meses, para la investigación se eligió personas que tengan una experiencia superior a 2 años.

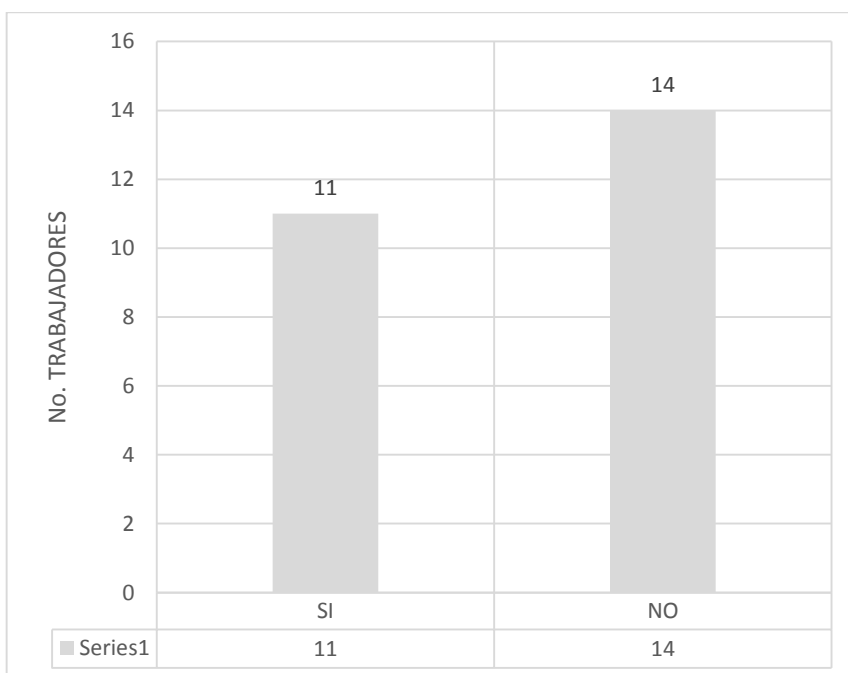
- **Variables antecedentes de consumo de licor y tabaco**

Del total de encuestados, 5 personas fuman entre 1 a 5 cigarrillos diarios, y representa el 20.83% de la población estudiada.



Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

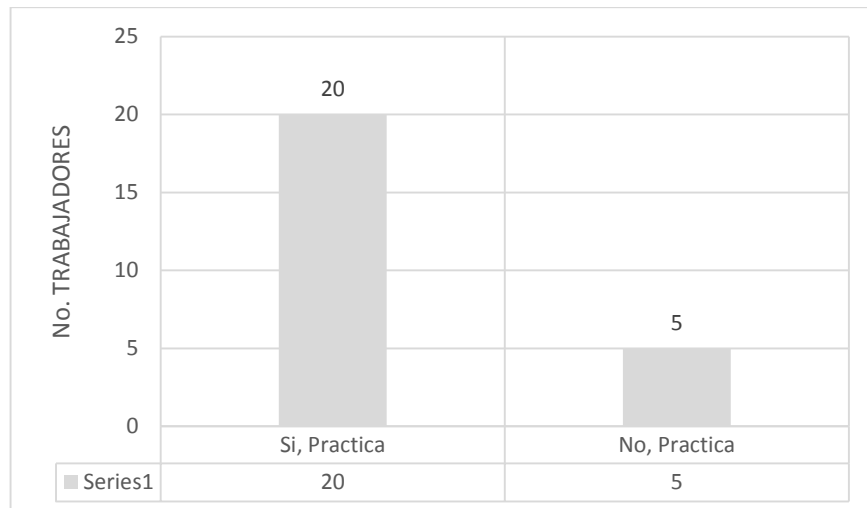
En lo que respecta al consumo de licor, el 44% de la muestra que corresponde a once personas consumen alcohol; una persona de manera anual y el resto de manera mensual o en fechas festivas.



Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

- **Variable de actividad física**

Del total de encuestados, el 80% de la muestra que corresponde a 20 personas, practican algún tipo de actividad física, en la mayoría de casos realizan actividad física los fines de semana.



Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018



## ANEXO J: Prueba de Homogeneidad de varianzas.

Mediante la aplicación del estadístico de Levene que se muestra en la siguiente figura se obtuvo un valor de significación menor de 0.05, lo que significa que se incumple el supuesto de homocedasticidad al determinar que la varianza de los nodos no son similares por lo que se rechaza la hipótesis nula.

### Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
BPM	Se basa en la media	16,235	6	5425	,000
	Se basa en la mediana	14,876	6	5425	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	14,876	6	5362,580	,000
	Se basa en la media recortada	16,008	6	5425	,000

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018

Al no cumplirse el supuesto de homocedasticidad se aplica el método no paramétrico de H de Kruskal – Wallis, del cual se obtiene como resultado una significación menor de 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta que existen diferencias significativas entre los bpm medidos de los diferentes nodos

## Pruebas no paramétricas

### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de BPM es la misma entre las categorías de NODO.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Realizado por: HURTADO, Sandra, 2018